

**DISEÑO CONCEPTUAL PARA LA ELABORACIÓN Y DESALCOHOLIZACIÓN DE CERVEZA
ARTESANAL**

INVESTIGADORES

**ALEJANDRO HERRERA ALZATE
ALEXANDER JARAMILLO RODRÍGUEZ**

**UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS
MEDELLÍN
2015**

**DISEÑO CONCEPTUAL PARA LA ELABORACIÓN Y DESALCOHOLIZACIÓN DE CERVEZA
ARTESANAL**

INVESTIGADORES

**ALEJANDRO HERRERA ALZATE
ALEXANDER JARAMILLO RODRÍGUEZ**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO DE PROCESOS**

**ASESOR
DIEGO A. ACOSTA MAYA**

**UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS
MEDELLÍN
2015**

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Jurado

Jurado

Medellín, 17 de Noviembre 2015

Agradecimientos

Los investigadores de este proyecto expresan sus agradecimientos a cada una de las personas que colaboraron con el posible desarrollo y éxito del mismo:

A nuestras familias por el apoyo y acompañamiento incondicional a lo largo de toda esta etapa de nuestras vidas.

DIEGO ANDRÉS ACOSTA MAYA, asesor del proyecto, por el constante acompañamiento y conocimiento brindado en cada momento del proyecto, por motivarnos y asesorarnos de la mejor manera.

JORGE OBANDO, la empresa HORTENCIAS Y TRINCHETES SAS porque gracias a su ayuda fue posible realizar la etapa de desalcoholización en las cervezas, sin su ayuda el proyecto no se hubiese podido ejecutar completamente.

A cada una de las personas de laboratorio por su amabilidad y disposición de colaborar cada que fue necesario.

A nuestros compañeros de estudio que de una u otra manera siempre estuvieron presentes durante la Ingeniería de Procesos.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	10
INTRODUCCIÓN.....	11
1. FUNDAMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.1 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	12
1.2 HIPÓTESIS.....	12
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GENERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3. JUSTIFICACIÓN	14
3.1 IMPACTO ACADÉMICO	14
3.2 IMPACTO SOCIAL	14
3.3 IMPACTO ECONÓMICO	14
4. MARCO TEÓRICO	15
4.1 INGREDIENTES PARA LA ELABORACIÓN DE LA CERVEZA ARTESANAL.....	15
4.1.1 MALTA	15
4.1.2 AGUA.....	16
4.1.3 LÚPULO	16
4.1.4 LEVADURA.....	16
4.2 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA CERVEZA ARTESANAL.....	17
4.2.1 TIPOS DE CERVEZA.....	18
4.3 PROCESOS DE DESALCOHOLIZACIÓN DE LA CERVEZA ARTESANAL.....	19
4.3.1 PRODUCCIÓN DE CERVEZA CON BAJO CONTENIDO DE ALCOHOL.....	19
4.3.2 PROCESOS FÍSICOS.....	19
4.3.3 PROCESOS BIOLÓGICOS	20
4.4 SUBLIMACIÓN BAJO VACÍO.....	20
5 ANTECEDENTES.....	22

6	METODOLOGÍA	24
6.1	ELABORACIÓN DE LA CERVEZA ARTESANAL.....	24
6.1.1	MATERIALES	24
6.1.1.1	AMERICAN INDIA PALE ALE.....	24
6.1.1.2	ENGLISH PORTER.....	24
6.1.1.3	HEFEWEIZEN.....	25
6.1.2	INSUMOS	25
6.1.3	EQUIPOS	26
6.1.4	PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA CERVEZA ARTESANAL.....	26
6.2	PROCESO DE DESALCOHOLIZACIÓN DE LA CERVEZA ARTESANAL POR MEDIO DE SUBLIMACIÓN BAJO VACÍO.....	29
6.3	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ALCOHÓLICO Y NIVEL DE SATISFACCIÓN DEL PRODUCTO FINAL.....	30
6.3.1	ANÁLISIS INSTRUMENTAL.....	30
6.3.2	ANÁLISIS SENSORIAL	30
6.4	DISEÑO CONCEPTUAL.....	32
7	RESULTADOS	33
7.1	RESULTADOS DEL ANÁLISIS INSTRUMENTAL DE LAS DIFERENTES RECETAS CON ALCOHOL Y SIN ALCOHOL.....	33
7.2	RESULTADOS DEL ANÁLISIS SENSORIAL.....	35
7.3	DISEÑO CONCEPTUAL DE LA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN Y DESALCOHOLIZACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL	38
7.3.1	Descripción de proceso de producción de cerveza artesanal.....	38
7.3.2	Descripción del proceso de producción de cerveza artesanal sin alcohol.	44
7.3.3	Dimensionamiento y selección de los equipos.	50
7.3.4	Balance de masa del proceso.	60
7.3.5	Análisis económico del proceso de elaboración de cerveza artesanal con alcohol y sin alcohol	62
8	CONCLUSIONES.....	74
9	RECOMENDACIONES	76

BIBLIOGRAFÍA	77
ANEXOS.....	80

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Algunos tipos de cerveza en el mundo.	19
Tabla 2. Escala hedónica de 9 puntos.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3. Tabla de interpretación estadística	31
Tabla 4. Diseño aleatorio del panel sensorial	31
Tabla 5. Porcentajes de alcohol por infrarrojo	33
Tabla 6. Porcentajes de alcohol por cromatografía de gases	34
Tabla 7. Resultados del panel sensorial para la cerveza IPA	35
Tabla 8. Resultados del panel sensorial para la cerveza Porter.	35
Tabla 9. Resultados del panel sensorial para la cerveza Hefeweizen	36
Tabla 10. Pruebas de alcoholemia en cerveza IPA	37
Tabla 11. Pruebas de alcoholemia en cerveza Porter	37
Tabla 12. Pruebas de alcoholemia en cerveza Hefeweizen	37
Tabla 13. Duración de las actividades del proceso de producción.....	39
Tabla 14. Duracion de las actividades del proceso según equipo.....	40
Tabla 15. Duración de actividades del proceso en cada Batch	43
Tabla 16. Duración del proceso de producción de cerveza sin alcohol.....	45
Tabla 17. Duración del proceso de producción de cerveza sin alcohol según el equipo.....	45
Tabla 18. Duración de las actividades de los días impares en el proceso de producción de cerveza sin alcohol	48
Tabla 19. Especificaciones de cada una de las bombas del proceso	59
Tabla 20. Costo de módulo desnudo de los equipos.....	64
Tabla 21. Costo de los equipos en pesos	65
Tabla 22. Costo mensual de la mano de obra.....	66
Tabla 23. Costo de materias primas mensual	67
Tabla 24. Costo y consumo de los servicios mensuales	68
Tabla 25. Costos de permisos y registros sanitarios	68
Tabla 26. Flujo de caja del proyecto.....	70
Tabla 27. TIR vs Precio de venta	71
Tabla 28. Flujo de caja del proyecto excluyendo la desalcoholización.....	72
Tabla 29. TIR vs Precio de venta de cerveza con alcohol	73

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Proceso de molienda de granos en la elaboración de cerveza artesanal.....	27
Ilustración 2. Enfriamiento del mosto para ser agregado al fermentador.....	28
Ilustración 3. Las 3 recetas de cerveza artesanal listas para consumo humano	28
Ilustración 4. Diagrama de bloques.....	29
Ilustración 5. Desalcoholización de la cerveza y polvo obtenido.....	29
Ilustración 6. Diagrama de Gantt preliminar del proceso según los equipos requeridos	40
Ilustración 7. Diagrama de Gantt de las actividades previas a la fermentación	41
Ilustración 8. Diagrama de Gantt con las 14 unidades de fermentación y las 2 de carbonatación	42
Ilustración 9. Diagrama de Gantt para la elaboración de un Batch "X"	43
Ilustración 10. Diagrama de Gantt para las actividades del proceso de elaboración de cerveza sin alcohol según cada equipo	46
Ilustración 11. Diagrama de Gantt del proceso con 14 fermentadores, 2 tanques de almacenamiento y 1 sublimador para desalcoholización.....	47
Ilustración 12. Diagrama de Gantt para las actividades de los días impares.....	49

RESUMEN

Este trabajo de grado consistió en la elaboración y desalcoholización de 3 recetas de cerveza artesanal basadas en recetas previamente diseñadas. Las cervezas fueron desalcoholizadas mediante un proceso de sublimación bajo vacío y luego reconstituidas con agua carbonatada. Usando espectrometría infrarroja y cromatografía de gases se determinó que más del 98% del alcohol presente en cada una de las muestras originales fue removido exitosamente. El grado de aceptación de cada una de las 6 variedades de cerveza se determinó mediante un panel de consumidores. Los resultados del panel mostraron un mayor grado de aceptación para las cervezas alcohólicas que para las cervezas no alcohólicas y permitieron determinar que existían diferencias significativas entre el sabor de las cervezas no alcohólicas y las cervezas originales.

Por último se elaboró un diseño conceptual de la planta para la elaboración de cerveza con y sin alcohol a partir del cual se realizó un análisis económico en el que se observa que el proyecto no es económicamente viable bajo las condiciones estudiadas, presentando una TIR del 7% y un VPN (\$1,054'498,368) menor a la inversión inicial (\$1,151'965,681).

Palabras claves: *cerveza artesanal, desalcoholización, diseño conceptual, panel de consumidores.*

INTRODUCCIÓN

Hoy en día el consumo de cerveza artesanal ha aumentado debido a la gran variedad de sabores que ofrece. Además de ser producida a menor escala que la cerveza industrializada, la principal característica de la cerveza artesanal es el énfasis que se le da al sabor y a las técnicas de producción (Piacentini, 2015).

En Colombia el consumo anual de cerveza es de cerca de 21 millones de hectolitros, de los cuales sólo 30 mil hectolitros se venden como cerveza artesanal. Aunque cubre menos del 1% del mercado en el país, las ventas de la cerveza artesanal han crecido entre un 30 y 40% cada año (Rosales, 2013).

Mientras en el mundo se consumen 7 cervezas artesanales por cada 100 industrializadas; en Colombia, se toma 1 cerveza artesanal por cada 10.000 industrializadas (Pérez, 2013), lo cual muestra que existe una gran oportunidad de crecimiento para la cerveza artesanal en el país.

En los últimos años, debido al interés de los consumidores por llevar estilos de vida saludables y a la creación de leyes que restringen el consumo de alcohol, se ha visto la necesidad de producir cervezas libres de alcohol que permitan a los consumidores seguir disfrutando de esta bebida (Brányik, 2012).

Particularmente en Colombia la ley 1696 del 19 de Diciembre de 2013 que sanciona la conducción bajo el influjo del alcohol causó una disminución de cerca de un 30% en las ventas de licores y bebidas alcohólicas en establecimientos públicos (Arias, 2014). Debido a esto es importante para las empresas productoras de cerveza artesanal tener la capacidad de desalcoholizar su producto en el fin de dar más opciones a sus consumidores y mantener su competitividad en el mercado.

1. FUNDAMENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Es posible llevar a cabo un proceso de desalcoholización para las formulaciones de cerveza artesanal por medio de sublimación bajo vacío?
- ¿Qué impacto tiene la desalcoholización sobre el sabor de la cerveza artesanal?
- ¿Cómo es el diseño conceptual de una planta para la producción y desalcoholización de cerveza artesanal?

1.2 HIPÓTESIS

Es factible técnica y económicamente elaborar y desalcoholizar cerveza artesanal a pequeña escala, apta para el consumo humano, mediante sublimación bajo vacío.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar a nivel conceptual el proceso de producción y desalcoholización de tres formulaciones de cerveza artesanal.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desalcoholizar las cervezas artesanales formuladas por medio de sublimación bajo vacío.
- Determinar el impacto de la desalcoholización en la cerveza mediante pruebas sensoriales y análisis instrumental.
- Diseñar conceptualmente el proceso de producción y desalcoholización de la cerveza artesanal con base en los resultados obtenidos.

3. JUSTIFICACIÓN

El mercado de la cerveza artesanal ha tenido un rápido crecimiento en Colombia debido a la gran variedad de sabores que ofrece a los consumidores, sin embargo, éste aun no abarca ni siquiera el 1% del mercado nacional de cerveza (Pérez, 2013). Debido a esta oportunidad de negocio y a los cambios en el mercado respecto al consumo de alcohol, es importante diseñar conceptualmente un proceso de producción de cerveza artesanal que incluya una etapa de desalcoholización lo cual tendrá impacto en diversas áreas como se describe a continuación.

3.1 IMPACTO ACADÉMICO

Se podrán aplicar conocimientos adquiridos durante la carrera en diversas asignaturas como Diseño en Ingeniería de Procesos, Estadística y Diseño de Experimentos, Información Científica, Ingeniería Económica, Procesos Industriales, Química Instrumental y Transferencia de Masa; se entrenarán habilidades para la planeación y elaboración de proyectos fundamentales para la formación en ingeniería y se aplicarán metodologías de investigación que proporcionarán una base teórica al proyecto.

3.2 IMPACTO SOCIAL

Se espera que este proyecto sea una base para el emprendimiento que caracteriza tanto a nuestra universidad como a nuestra región, con lo cual éste podría convertirse en una fuente de empleo. Además la producción de cerveza sin alcohol ofrece a los consumidores la posibilidad de disfrutar de la cerveza de una manera más saludable.

3.3 IMPACTO ECONÓMICO

Este proyecto es una oportunidad de emprendimiento que puede convertirse en una fuente de ingresos para quienes lo desarrollen. Además, de convertirse en una idea de negocio, este proyecto podría ampliar el mercado de la cerveza artesanal en la ciudad con nuevas variedades de cerveza con y sin alcohol en el futuro.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 INGREDIENTES PARA LA ELABORACIÓN DE LA CERVEZA ARTESANAL

4.1.1 MALTA

Malta es el nombre que recibe la cebada luego de pasar por el proceso de malteado en el cuál los granos se germinan parcialmente con el fin de alcanzar el grado de modificación (transformación de las reservas de alimento presentes en el grano) deseado para la producción de cerveza. El grado de modificación de la malta determina si esta podrá ser molida correctamente, si sus azúcares podrán ser reducidos fácilmente por las enzimas y la cantidad de enzimas que habrá disponibles para llevar a cabo dicha tarea (Miller, 1995).

Con el fin de mejorar el uso de la malta en los procesos de producción de cerveza se han realizado varias pruebas para medir algunas propiedades de los distintos tipos de malta. El extracto es la más importante de estas propiedades ya que muestra la cantidad de azúcares que pueden ser extraídos de la malta durante el proceso de macerado. Otra de las especificaciones más importantes de la malta es el poder diastásico el cual es una medida del contenido enzimático. Las maltas con un alto poder diastásico pueden convertir sus azúcares rápidamente e incluso azúcares adicionales, lo cual permite el uso de cereales no malteado como el arroz y el maíz. Además también es importante tener en cuenta la medida del color de la malta lo cual tiene un impacto importante sobre el carácter final de la cerveza. Éste puede ser medido en grados Lovibond o en unidades EBC (European Brewing Convention) (Miller, 1995).

Existen varios tipos de malta los cuales se generan por el proceso de malteado al que sean sometidos los granos de cebada. El más importante es la malta base la cual tiene un gran poder diastásico y por tanto compone el mayor porcentaje de granos utilizados en el proceso de producción de cerveza. Existen maltas que son secadas a una mayor temperatura durante el proceso de malteado pero aun retienen suficiente poder diastásico para convertir sus propios azúcares, de las cuales sobresalen la malta Munich y la malta Vienna. Estas maltas se usan para dar un mejor sabor y aroma a la cerveza sin afectar mucho su color. La malta caramelo es una malta ligeramente más oscura con muy bajo poder diastásico por lo que debe ser utilizada en combinación con malta base. Esta malta le da un sabor dulce a la cerveza y es uno de los componentes característicos de las cervezas oscuras y rojas. Por último las maltas tostadas son obtenidas al someter los granos de cebada a altas temperaturas con lo cual

pierden la mayoría de sus enzimas. Entre ellas se encuentran la malta ámbar, la malta café, la malta chocolate, la mata negra y la cebada tostada (Miller, 1995).

4.1.2 AGUA

El agua es uno de los ingredientes más importantes en la producción de cerveza. Ésta compone cerca de un 90% del producto final por lo cual es importante tener en cuenta las características de este ingrediente. Muchas de las cervezas más reconocidas en la historia se han visto afectadas por el agua de la región de la cual se originaron. Munich, Dublin, Pilzen y Dortmund son algunos ejemplos (Papazian, 1994).

Por un lado es importante tener en cuenta el pH del agua con el que se trabaje el cual influye principalmente en la activación de las enzimas presentes en el proceso de maceración. Además también es importante conocer la cantidad de nitratos, nitritos, minerales y iones presentes en el agua ya que el exceso o defecto de algunas de estas sustancias pueden generar sabores desagradables en el producto final (Miller, 1995).

4.1.3 LÚPULO

El lúpulo es una hierba amarga que es usada casi exclusivamente para la producción de cerveza. Aunque antiguamente eran usadas otras hierbas y especias en su lugar, actualmente su amargor y aroma son esperados en el sabor de cualquier cerveza. Existen muchas variedades de lúpulo, usualmente nombradas por su lugar de origen. Dichas variedades de lúpulos se dividen principalmente en dos grandes grupos de acuerdo a su función en la producción de cerveza: lúpulos amargos y lúpulos aromáticos. La especificación más importante en el lúpulo es el contenido de ácidos alfa (principalmente humulona) los cuales son responsables por cerca del 90 % del amargor en la cerveza (Miller, 1995).

El lúpulo puede adquirirse en varias formas: en hojas sueltas, en pellets, en polvo o como extracto líquido. La forma de lúpulo que se use en el proceso influirá principalmente en la cantidad de ácidos alfa que podrán disolverse en el mosto durante el proceso de cocción (Miller, 1995).

4.1.4 LEVADURA

La levadura es el microorganismo encargado de llevar a cabo el proceso de fermentación en la producción de cerveza. Típicamente existen dos tipos de levaduras que son usados para este fin, la *Saccharomyces Carlsbergensis* (comúnmente conocida como “levadura lager”) y la

Saccharomyces Cerevisiae (comúnmente conocida como “levadura ale”). La levadura lager se caracteriza por estar activa a temperaturas frías (45-55 °F), dando como resultado fermentaciones más lentas y cervezas más suaves y claras. Por el contrario la levadura ale trabaja a temperaturas mayores (65-75 °F) con lo que la fermentación toma menos tiempo y se producen sabores frutales típicos de la cerveza ale (Miller, 1995).

Una de las características más importantes de la levadura es la atenuación, o la habilidad de metabolizar los azúcares del mosto. Este se mide como la caída de la gravedad específica del mosto que tiene lugar durante la fermentación. La levadura no solo se encarga de transformar los azúcares presentes en el mosto en alcohol y dióxido de carbono sino que produce una gran variedad de sustancias que son las que componen el sabor del producto final. La levadura puede adquirirse en polvo o líquida. La levadura en polvo debe ser rehidratada antes de usarse para asegurar que la fermentación inicie correctamente (Miller, 1995).

4.2 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA CERVEZA ARTESANAL

La cerveza es una bebida fermentada con bajo contenido de alcohol elaborada principalmente a partir de cebada y otros ingredientes como lúpulo, agua, azúcar, trigo, almidón y levadura (Xu, 2007).

Esta bebida se elabora a partir de la fermentación de los azúcares presentes en la cebada (principalmente maltosa). Para que estos azúcares estén disponibles es necesario que la cebada pase por un proceso de malteado, el cual consiste en la germinación parcial de los granos con el fin de activar las enzimas que conviertan las reservas de almidón y proteínas en azúcares y amino-ácidos necesarios para el proceso de elaboración de la cerveza. Una vez las semillas comienzan a germinar el grano es secado para detener las enzimas hasta que la malta (cebada malteada) vaya a ser usada (Palmer, 2006). Las condiciones bajo las cuales se lleve a cabo el proceso de malteado de la cebada determinan el tipo de malta que se producirá, lo cual será uno de los principales factores que determinarán el carácter final de la cerveza. Comercialmente este proceso es llevado a cabo por malterías que producen las diversas variedades de maltas disponibles para las empresas productoras de cerveza.

La malta debe ser molida con el fin de exponer el interior de los granos pero evitando no se pulverice la cáscara del grano, la cual es de gran utilidad para la posterior filtración de la cerveza.

Una vez la malta ha sido molida esta pasa al proceso de maceración durante el cual ésta es sumergida en agua caliente con el fin de rehidratar la cebada, activar las enzimas y convertir el almidón de los granos en azúcares fermentables (principalmente maltosa). Durante este proceso actúan enzimas como la beta glucanasa, las enzimas proteolíticas, la alfa amilasa y la beta amilasa, por lo cual se busca tener condiciones de temperatura y pH que favorezcan el funcionamiento de dichas enzimas a la vez que permitan mantener la solubilidad del almidón. Al finalizar el proceso de macerado la solución obtenida debe ser separada de los granos de malta, ya que la presencia de estos durante el proceso de cocción puede generar sabores indeseados para el producto final. Esto se logra haciendo pasar la solución a través de las cáscaras de los granos de cebada, las cuales actúan como un filtro. En esta etapa se observa la importancia de la correcta molienda de los granos (Palmer, 2006).

Esta solución rica en azúcares fermentables (principalmente maltosa), denominada mosto, debe pasar luego a un proceso de cocción durante el cual se debe alcanzar la ebullición con el fin de reducir el riesgo de contaminación por microorganismos. En el momento en el que se alcanza la ebullición se comienza a agregar el lúpulo. El tiempo durante el cual esté sometido el lúpulo a la cocción determinará el papel que tendrá éste en el carácter de la cerveza por lo cual varias adiciones de lúpulo de distintos tipos son añadidos en determinados momentos durante el proceso. Al finalizar la cocción debe enfriarse el mosto hasta una temperatura apta para la adición de la levadura (por debajo de 80 °F). El enfriamiento del mosto debe hacerse rápidamente para evitar oxidación o contaminación del mismo. Una vez se alcanza la temperatura deseada se agrega el mosto y la levadura al fermentador (i.e., un recipiente en el que se evita la entrada de aire a la vez que se libera el dióxido de carbono producto de la fermentación y se mantiene la temperatura requerida por la cepa de levadura que se utilice). Al alcanzar el grado de fermentación deseado para la cerveza, esta se mezcla con azúcares adicionales que posibiliten la carbonatación del producto final y es almacenada para su consumo (Palmer, 2006).

4.2.1 TIPOS DE CERVEZA

Un tipo de cerveza es una marca que describe el carácter, y en algunas ocasiones el origen, de una cerveza. El principal aspecto según el cual se clasifica la cerveza es el tipo de levadura usada para su fermentación, ya sea Ale (*Saccharomyces Cerevisiae*) o Lager (*Saccharomyces Carlsbergensis*). De estas dos variedades se ha originado un gran número de tipos de cerveza en varias regiones del mundo, los cuales han ido evolucionando y obteniendo características que los definen (Papazian, 2003).

Los tipos de cervezas más reconocidas en el mundo se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Algunos tipos de cerveza en el mundo.

Alemania	Inglaterra	Bélgica	E.U.A	Otros
Märzen	India Pale Ale	Dubbel	California	Czech Pilsener
Kölsch	English Porter	Witbier	Amber Ale	Irish Red Ale
Doppelbock	English Stout	Bière Garde	Cream Ale	Scotch Ale
Hefeweizen	Oatmeal Stout	Gueuze	Light Lager	Japanese Rice

4.3 PROCESOS DE DESALCOHOLIZACIÓN DE LA CERVEZA ARTESANAL

4.3.1 PRODUCCIÓN DE CERVEZA CON BAJO CONTENIDO DE ALCOHOL

La cerveza con bajo contenido de alcohol ha ganado popularidad en los últimos años debido principalmente a las legislaciones que restringen el consumo de alcohol y a la conciencia que se ha generado en la sociedad por llevar un estilo de vida saludable. Los métodos para la producción de cerveza con bajo contenido de alcohol se dividen en dos grupos: Procesos físicos y procesos biológicos. Los procesos físicos se basan en una ligera remoción del alcohol presente en una cerveza ordinaria y requieren inversiones considerables en los equipos necesarios para la remoción del alcohol. Estos procesos tienen la ventaja de poder reducir el contenido de alcohol de la cerveza casi totalmente. Los procesos biológicos se basan en la formación limitada de etanol durante la fermentación de la cerveza. Normalmente no requieren de inversión adicional pero generan sabores desagradables en la cerveza. También existen métodos de formación limitada de alcohol que consisten en bioreactores de operación continua los cuales requieren una gran inversión en equipos adicionales (Brányik, 2012).

4.3.2 PROCESOS FÍSICOS

Los procesos físicos para la producción de cerveza con bajo contenido de alcohol se dividen en procesos térmicos y procesos de membrana. En los procesos térmicos los destiladores al vacío y los evaporadores al vacío son los equipos más utilizados industrialmente. Las principales ventajas de estos procesos son el potencial de poder remover completamente el alcohol presente en la cerveza y la posibilidad de comercializar el alcohol extraído. Sin embargo estos procesos requieren una alta inversión en equipos y genera altos costos de operación. En los procesos de membrana utilizados a escala industrial para la remoción de alcohol de la cerveza

son la diálisis y la ósmosis inversa. Estos procesos generan menos daños térmicos en la cerveza pero tienen mayores costos de capital y de operación (Brányik, 2012).

4.3.3 PROCESOS BIOLÓGICOS

Estos procesos presentan la ventaja de no requerir inversión adicional en equipos, sin embargo tienen una capacidad de remoción de alcohol menor que la de los procesos físicos. Los tres procesos biológicos más utilizados industrialmente son la maceración alterada, la fermentación limitada y el uso de levadura modificada. La maceración alterada consiste en utilizar condiciones de operación durante la maceración que favorezcan la acción de la alfa amilasa, la cual genera azúcares no fermentables y da como resultado una menor producción de alcohol durante la fermentación. Normalmente la maceración alterada no es suficiente para obtener niveles suficientemente bajos de etanol, por lo que debe ser combinada con otros procesos para obtener los resultados esperados. La fermentación limitada puede lograrse ya sea removiendo la levadura antes de que se alcancen altos niveles de atenuación (transformación de azúcares en etanol) o creando condiciones que restrinjan el metabolismo de la levadura. Estos métodos de producción operan con equipos tradicionales pero requieren un control analítico preciso. El uso de levaduras modificadas se basa en el hecho de que el principal azúcar fermentable en el mosto es maltosa y algunas cepas de levadura son incapaces de fermentar este azúcar. El proceso de producción con levaduras modificadas es idéntico al proceso de producción de cerveza tradicional, sin embargo, debido a la baja actividad de la levadura y al alto contenido de azúcares residuales este proceso es muy vulnerable a la contaminación por otros microorganismos y por lo tanto requiere altos estándares de limpieza y control microbiológico (Brányik, 2012). Debido a que los métodos biológicos aún no presentan un sabor final agradable en el producto final, no es ampliamente usada industrialmente y se encuentran en estudios de investigación.

4.4 SUBLIMACIÓN BAJO VACÍO

La sublimación bajo vacío es un proceso de deshidratación usado para preservar sustancias perecederas o para facilitar el transporte de algunos materiales (Garrett, 2012). Este proceso consiste en congelar el material y someterlo a una presión de vacío con el fin de permitir que el agua presente en el mismo pase directamente de un estado sólido a un estado gaseoso (Kasper, 2013).

Para comenzar el proceso de sublimación bajo vacío el material debe ser enfriado por debajo de su punto triple, el cual corresponde a la mínima temperatura en la que las fases sólida y

líquida pueden coexistir, con el fin de asegurar que haya sublimación en lugar de fusión. En esta etapa usualmente se emplean temperaturas entre $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Una vez se ha congelado el material se procede a la etapa de secado, en la cual se reduce la presión hasta unos cuantos milibares y se suministra al material el calor necesario para la sublimación del hielo con lo cual se logra extraer cerca del 95% del agua presente. Por último se pasa a una etapa de secado secundario en la cual se aumenta la temperatura con el fin de remover moléculas de agua presentes en el material que no hayan sido congeladas. Una vez finaliza el proceso de sublimación bajo vacío se equilibra la presión usando un gas inerte y se empaca el material resultante (Nakagawa, 2015).

Esta técnica permite conservar tanto la actividad biológica de productos farmacéuticos como los sabores y aromas de los alimentos, sin embargo, es un proceso costoso debido a su complejidad y a los largos tiempos de secado (Nakagawa, 2015).

5 ANTECEDENTES

La producción de cerveza sin alcohol en el mundo ha sido motivada por diversas razones a través del siglo pasado. Durante las guerras mundiales la escasez de recursos hacia que la cerveza producida tuviera bajo contenido alcohólico. Además, entre los años 1919 y 1933 la prohibición para producir, vender y consumir alcohol en los Estados Unidos fue la que impulso la producción de cerveza libre de alcohol. Sin embargo el verdadero crecimiento de este mercado se ha dado en los últimos 10 años debido a la creación de leyes que restringen el consumo de alcohol y al deseo de los consumidores por llevar estilos de vida más saludables (Brányik, 2012).

En Colombia los consumidores han tenido acceso a la cerveza sin alcohol desde principios de la década del 2000, cuando se comenzó a importar este tipo de cerveza debido al auge de los PUB de estilo europeo (Salamanca, 2014), dos ejemplos de dichas cervezas sin alcohol son la cerveza holandesa Buckler y la cerveza alemana Erdinger “Alkoholfrei”.

Sin embargo fue la ley 1696 que sanciona la conducción bajo el influjo del alcohol, aprobada el 19 de Diciembre de 2013, lo que realmente impulso a las cervecerías colombianas a producir cervezas sin alcohol. La primera marca en proponer una cerveza sin alcohol hecha en Colombia fue “Apostol”, con su cerveza “SIN” desarrollada artesanalmente. Poco después Bavaria lanzó al mercado su cerveza industrializada sin alcohol “Aguila Cero” cuyo contenido de alcohol está por debajo del 0.4% y es producida mediante un proceso de destilación (Salamanca, 2014). Por último la cervecería 3 Cordilleras lanzó su cerveza sin alcohol “Páramo”, sin embargo, ésta no es producida en sus instalaciones ya que decidieron importarla desde España por lo complejo y costoso del proceso de desalcoholización (Sánchez, 2015).

Los efectos de la concentración de bebidas por congelación han sido bien apreciados desde el siglo VII en la preparación de vinos congelados, sin embargo el secado en frío como proceso industrial data de la época de la segunda guerra mundial donde la demanda de plasma de sangre humana alcanzó proporciones críticas. (Franks, 1998).

El secado en frío es el proceso más utilizado en la preparación de proteínas farmacéuticas sólidas, por esto en las últimas décadas se han llevado a cabo diferentes estudios para el congelado, secado y estabilización de proteínas para un almacenamiento de larga duración (Wang, 2000) y cerca del 50% de los biofarmacéuticos comerciales pasan por un proceso de secado en frío por su fácil manejo durante el transporte y el almacenamiento. (Kasper & Friess, 2011)

Debido a la asociación del consumo moderado de cervezas y vinos con menor riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares, (Ghiselli et al, 2000) y (Caccetta et al, 2001) han desalcoholizado estas bebidas, por sublimación bajo vacío, para estudiar el efecto del contenido polifenólico de las mismas, en ausencia de alcohol, sobre el cuerpo humano.

Otra desalcoholización de vino por esta técnica fue realizada por (Izquierdo, 2014) con el Instituto de la Vid y el Vino de Castilla, obteniendo resultados exitosos en la reducción del contenido alcohólico y la conservación de aromas.

6 METODOLOGÍA

6.1 ELABORACIÓN DE LA CERVEZA ARTESANAL

6.1.1 MATERIALES

Las 3 recetas de cerveza artesanal elaboradas en este proyecto fueron diseñadas con base al libro *Designing Great Beers* de Ray Daniels (Daniels, 2000) siguiendo los lineamientos propios de los estilos de cerveza American India Pale Ale, English Porter y Hefeweizen.

6.1.1.1 AMERICAN INDIA PALE ALE

- Malta:
 - Pale Ale: 4.54 Kilogramos.
 - Crystal: 0.454 Kilogramos.
 - Munich: 0.34 Kilogramos.
 - Trigo: 0.23 Kilogramos.
- Lúpulo:
 - Amargor: 50 gramos de Cascade.
 - Sabor: 20.13 gramos de Cascade.
 - Aroma: 21.83 gramos de Cascade.
- Levadura:
 - SafAle US-05: 11 gramos.
- Agua:
 - 35.77 litros.

6.1.1.2 ENGLISH PORTER

- Malta:
 - Pale Ale: 4.265 Kilogramos.
 - Crystal: 0.734 Kilogramos.
 - Chocolate: 0.498 Kilogramos.

- Lúpulo:
 - Amargor: 12.67 gramos de Chinook.
 - Sabor: 17 gramos de Cascade.
 - Aroma: 22.7 gramos de Cascade.
- Levadura:
 - SafAle US-05: 11 gramos.
- Agua:
 - 34 litros.

6.1.1.3 HEFEWEIZEN

- Malta:
 - Pilsen: 3.15 Kilogramos.
 - Trigo: 2.984 Kilogramos.
- Lúpulo:
 - Amargor: 4.25 gramos de Hallertau.
 - Sabor: 6.54 gramos de Cascade.
 - Aroma: 9.16 gramos de Cascade.
- Levadura:
 - Munich Wheat: 11 gramos.
- Agua:
 - 35.5 litros.

6.1.2 INSUMOS

En la elaboración de la cerveza artesanal se utilizaron los siguientes insumos en las cantidades especificadas en las recetas utilizadas:

- Cebada malteado tipo Pilsen.
- Cebada malteada tipo Pale Ale.

- Cebada malteada tipo Crystal.
- Cebada malteada tipo Chocolate.
- Cebada malteada tipo Munich.
- Malta de trigo.
- Lúpulo Cascade.
- Lúpulo Chinook.
- Levadura SAFAle US-05.
- Levadura Munich Wheat.
- Agua.
- Agua carbonatada para la cerveza sin alcohol.

6.1.3 EQUIPOS

Para la elaboración de la cerveza artesanal y su desalcoholización se utilizaron los siguientes equipos:

- Molino para granos.
- Olla de 40 litros para la cocción.
- Recipiente de 40 litros para la maceración.
- Tubería de cobre utilizada para enfriar rápidamente el mosto después de la cocción.
- Botellones de 20 litros para la fermentación.
- Balanza.
- Termómetro.
- Hidrómetro
- Equipo para la desalcoholización

6.1.4 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA CERVEZA ARTESANAL

Para comenzar el proceso de elaboración, se muelen los granos de cebada ajustando la apertura del molino para exponer el interior del grano sin reducir excesivamente el tamaño de las cáscaras.

Ilustración 1. Proceso de molienda de granos en la elaboración de cerveza artesanal



Luego se agrega una cantidad de agua a 72 °C (162 °F) igual a 2.77 litros, por cada kilogramo de grano en la receta, al recipiente en el que se llevará a cabo la maceración. Los granos molidos se agregan al agua presente en el macerador y se conserva la temperatura en 67 °C (152 °F) durante 90 minutos. Al finalizar la maceración se comienza a extraer el contenido del macerador mediante la válvula ubicada en la parte inferior del mismo, manteniendo un bajo flujo para favorecer la formación del lecho de cáscaras que sirve como filtro en el proceso. La solución se recircula al macerador a medida que es extraída hasta que no se perciban sólidos suspendidos en esta. Finalmente se deja fluir la solución a la olla de cocción manteniendo un bajo flujo, con el fin de evitar el daño al lecho de cáscaras, a medida que se agrega el agua restante de la receta a 77 °C (170 °F) al macerador para arrastrar los azúcares restantes atrapados en los granos.

Una vez toda la solución resultante de la maceración, denominada mosto, este en la olla de cocción se calienta hasta ebullición y se mantiene en ebullición por 90 minutos. Cuando falten 60 minutos para finalizar la cocción se agrega el lúpulo de amargor. Faltando 15 minutos para finalizar la cocción se agrega el lúpulo de sabor. Durante los últimos 2 minutos de la cocción se agrega el lúpulo de aroma. Finalmente el mosto debe enfriarse rápidamente hasta 30 °C (86° F) para ser agregado al fermentador junto a la levadura, disminuyendo el riesgo de contaminación por otros microorganismos.

Ilustración 2. Enfriamiento del mosto para ser agregado al fermentador

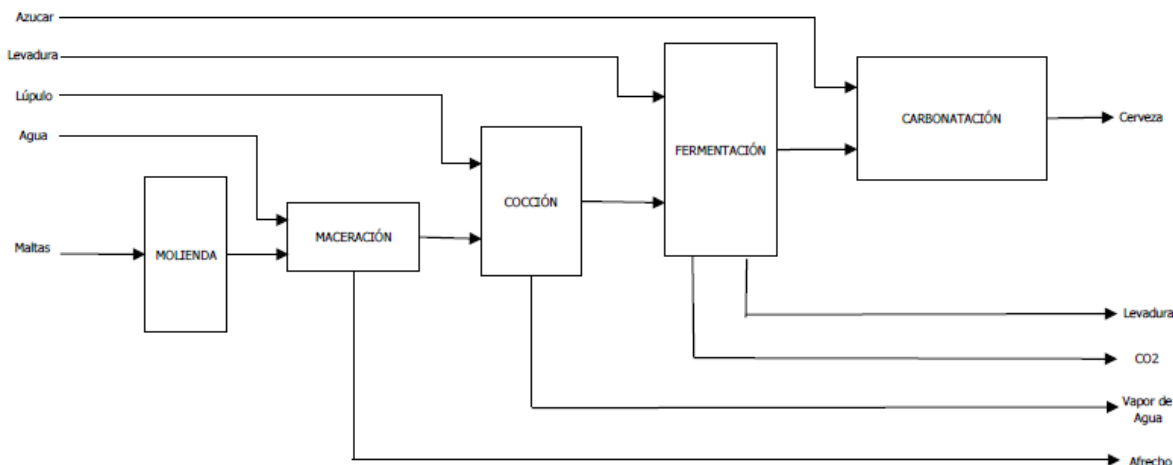


Una vez se agreguen el mosto y la levadura al fermentador se debe mantener una temperatura apropiada para la levadura Ale (20 °C), que es la usada en las tres recetas a elaborar en el proyecto. Luego de dejar fermentar el mosto durante 14 días se le agrega 100 gramos de azúcar antes de ser embotellada para que la levadura pueda producir el dióxido de carbono necesario en las botellas. Finalmente se esperan 7 días mientras ocurre la carbonatación natural en las botellas tras lo cual la cerveza queda lista para el consumo.

Ilustración 3. Las 3 recetas de cerveza artesanal listas para consumo humano



Ilustración 4. Diagrama de bloques



6.2 PROCESO DE DESALCOHOLIZACIÓN DE LA CERVEZA ARTESANAL POR MEDIO DE SUBLIMACIÓN BAJO VACÍO

El proceso de desalcoholización de la cerveza artesanal se llevó a cabo en un equipo facilitado por el señor Jorge Obando de la empresa Hortencias y Trinchetes marca NORTH SATR modelo 3680, donde se desalcoholizaron 5 botellas de 330 ml (1650 ml) de cada receta en cada ensayo. Para desalcoholizar la cerveza fue necesario congelar las muestras, esperar el tiempo requerido para que se deshidrate toda la muestra, y luego esperar que el equipo igualara la temperatura del ambiente para evitar una hidratación inmediata de la muestra debido al cambio de temperatura.

El polvo que se obtuvo después de este proceso debió ser rehidratado con agua carbonatada.

Ilustración 5. Desalcoholización de la cerveza y polvo obtenido



6.3 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ALCOHÓLICO Y NIVEL DE SATISFACCIÓN DEL PRODUCTO FINAL

6.3.1 ANÁLISIS INSTRUMENTAL

El análisis instrumental se llevó a cabo mediante cromatografía de gases y espectrometría infrarrojo en el laboratorio de química instrumental de la Universidad Eafit, se realizó una cromatografía y un infrarrojo para cada una de las recetas originales y para cada una de las muestras obtenidas luego del proceso de desalcoholización con el fin de determinar el cambio en el contenido alcohólico de las muestras.

Para la cromatografía de gases se utilizó una columna TRB WAX de 30 mts X 0.32 mm X 0.25 um, una temperatura de inyección de 250 C una temperatura de detección de 300 C, una presión de gas de 12 psi y un tiempo de retención de 2 minutos.

6.3.2 ANÁLISIS SENSORIAL

Para el análisis sensorial de las cervezas con alcohol y sin alcohol, se midió el grado de satisfacción por medio de un panel de consumidores con 30 jueces no entrenados utilizando una encuesta en escala hedónica verbal de 9 puntos para cada receta.

Tabla 2. Escala hedónica de 9 puntos

Puntaje	Categoría	Puntaje	Categoría
1	Me disgusta exageradamente	6	Me gusta levemente
2	Me disgusta mucho	7	Me gusta moderadamente
3	Me disgusta moderadamente	8	Me gusta mucho
4	Me disgusta levemente	9	Me gusta exageradamente
5	No me gusta ni me disgusta		

Con estas pruebas se determinó el grado de aceptación de cada una de las cervezas desalcoholizadas obtenidas luego del proceso de liofilización. Además se compararon

muestras de cerveza sin alcohol con las cervezas originales (con alcohol) para evaluar el cambio, percibido por el consumidor, en el sabor de las cervezas debido a la desalcoholización por medio de una prueba dúo-trío que permite identificar si hay un cambio significativo en el sabor de varias muestras utilizando una tabla de interpretación estadística como se muestra en la tabla 3 (Roessler, 1948).

Tabla 3. Tabla de interpretación estadística

Cantidad de Jueces	Cantidad de respuestas correctas para que la prueba sea significativa		
	5%	1%	0,1%
25	18	19	21
26	18	20	22
27	19	29	22
28	19	21	23
29	20	22	24
30	20	22	24

Para comparar y evaluar cada una de las cervezas, se le entregó a cada uno de los consumidores una muestra de cerveza sin decirle si se iban a tomar una cerveza con alcohol o sin alcohol, el consumidor debió evaluar su grado de satisfacción y presentar una prueba de alcoholemia, luego se le entregó la contraparte de la cerveza que acababa de consumir y por último, se realizó la prueba dúo-trío, que consistía en darle al panelista una muestra referencia de cerveza (con o sin alcohol) y el panelista debía decir cuál de las cervezas que había acabado de evaluar era similar a la muestra referencia. Este ejercicio se repitió para la evaluación en cada receta, además entre muestra y muestra se consumía una galleta de soda o un poco de levadura para eliminar el sabor anterior.

El orden en el que se iba entregando cada muestra se hizo de manera aleatoria. En la tabla 4, la letra A representa las muestras sin alcohol, la letra B las muestras con alcohol, la letra R+ la muestra referencia con alcohol y la letra R- la muestra referencia sin alcohol.

En la tabla se muestran el orden en que se realizaron las primeras 5 pruebas

Tabla 4. Diseño aleatorio del panel sensorial

Muestra	Primera	Segunda	Tercera
1	B	A	R-
2	B	A	R+
3	A	B	R-

4	A	B	R+
5	B	A	R-

6.4 DISEÑO CONCEPTUAL

A partir de los resultados obtenidos en el proceso de elaboración y desalcoholización de las 3 recetas de cerveza se elaboró el diseño conceptual de la planta para la producción de 6 variedades de cerveza artesanal (3 alcohólicas y 3 no alcohólicas). El diseño conceptual incluye:

- Descripción del proceso de producción y desalcoholización de cerveza.
- Diagramas de Gantt en los que se muestra la duración y secuencia de las actividades presentes en el proceso elaborados con base en el libro “*Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes*” (Turton, 2009).
- Diagramas de bloques (BFD) para cada una de las 6 variedades de cerveza con base en los balances de masa.
- Diagramas de flujo de procesos (PFD) para cada una de las 6 variedades de cerveza con sus respectivas recetas, tablas de servicios y tablas de equipos.
- Dimensionamiento y selección de los equipos requeridos para la operación de la planta.
- Análisis económico el proyecto con base en los costos de capital y los costos de operación calculados.

7 RESULTADOS

7.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS INSTRUMENTAL DE LAS DIFERENTES RECETAS CON ALCOHOL Y SIN ALCOHOL

Con el fin de verificar que el proceso de sublimación hubiera removido suficiente cantidad de etanol de las cervezas se analizaron cada una de las seis recetas producidas mediante espectrometría infrarroja y cromatografía de gases.

Mediante la espectrometría infrarroja se determinó el porcentaje de etanol presente en cada una de las seis muestras usando una curva de calibración presente en el programa del equipo. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Porcentajes de alcohol por infrarrojo

Muestra	% V/V Etanol	Disminución (%)
IPA sin alcohol	1,38%	82,12%
IPA con alcohol	7,72%	
Hefeweizen sin alcohol	1,87%	70,89%
Hefeweizen con alcohol	6,44%	
Porter sin alcohol	2,80%	60,01%
Porter con alcohol	7,01%	

Los resultados obtenidos mediante la espectrometría infrarroja presentan un contenido de etanol en las muestras superior al esperado tanto para las cervezas con alcohol como para las cervezas sin alcohol. Para las cervezas con alcohol producidas se estimó un contenido de etanol de 5% V/V para las tres recetas a partir del cambio en la densidad antes y después de la fermentación.

De acuerdo al decreto número 1686 de 2012 se considera como cerveza no alcohólica aquella con una concentración de etanol menor a 2.5% V/V. Como se observa en la Tabla 5 la única de las tres recetas no alcohólicas que no cumple esta condición es la “Porter sin alcohol” con un contenido de etanol de 2.8% V/V.

Se calculó además el porcentaje de disminución de la concentración de etanol en las muestras mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Disminución} = \frac{(X_2 - X_1)}{X_2} * 100\%$$

En esta fórmula X_1 corresponde a la muestra sin alcohol y X_2 corresponde a la muestra con alcohol.

El contenido de etanol en la muestras fue evaluado también mediante la cromatografía de gases y los resultados se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Porcentajes de alcohol por cromatografía de gases

Muestra	Área ($\mu\text{V.s}$)	Disminución (%)
IPA sin alcohol	5491,46	98,69%
IPA con alcohol	419770,36	
Hefeweizen sin alcohol	4431,40	98,12%
Hefeweizen con alcohol	235656,64	
Porter sin alcohol	11599,05	99,43%
Porter con alcohol	2026029,44	

Se observa que los resultados obtenidos mediante la cromatografía de gases presentan algunas incoherencias respecto a la magnitud de las áreas obtenidas. Estas áreas son directamente proporcionales al contenido de etanol de las muestras, sin embargo, se observa que el área de la IPA con alcohol es 1.8 veces mayor que el área de la Hefeweizen con alcohol; y el área de la Porter con alcohol es 8.6 veces mayor que el área de la Hefeweizen con alcohol. A pesar de estas incoherencias observamos que los porcentajes de disminución calculados son bastante similares entre ellos lo cual muestra que dichas incoherencias se presentan entre las diferentes recetas de cerveza y no entre las cervezas con y sin alcohol.

En la sección de anexos se presentan los espectros infrarrojos y los cromatogramas de las muestras obtenidos en el análisis instrumental.

7.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS SENSORIAL

Los resultados del panel realizado para las 3 recetas de cerveza artesanal (IPA, Porter y Hefeweizen) en cuánto a grado de satisfacción en general y diferenciación entre una cerveza con alcohol y sin alcohol, se presentan en las tablas 7, 8 y 9.

En cada una de las tablas se muestra con 1 o 0 la respuesta dada por el panelista en el momento en que se le pide diferenciar una muestra de referencia contra las muestras con alcohol y sin alcohol que previamente había evaluado, siendo 1 una respuesta positiva (es capaz de diferenciar la muestra de cerveza referencia) y 0 una respuesta negativa (no es capaz de diferenciar la muestra de cerveza referencia).

Tabla 7. Resultados del panel sensorial para la cerveza IPA

Muestra	Sin Alcohol	Con Alcohol	Respuesta
21	3	8	0
Promedio	3,33	7,03	NA

En la tabla 7 se observa que en la muestra 21, de las 30 realizadas, el evaluado no supo diferenciar entre las cervezas entregadas.

Tabla 8. Resultados del panel sensorial para la cerveza Porter.

Muestra	Sin Alcohol	Con Alcohol	Respuesta
4	3	3	0
5	7	7	0
19	5	6	0
Promedio	3,97	6,50	NA

En la tabla 8 se observa que en la muestra 4,5 y 19, de las 30 realizadas, el evaluado no supo diferenciar entre las cervezas entregadas.

Tabla 9. Resultados del panel sensorial para la cerveza Hefeweizen

Muestra	Sin Alcohol	Con Alcohol	Respuesta
3	7	9	0
11	4	8	0
17	6	7	0
29	4	7	0
Promedio	3,97	8,03	NA

Como se puede observar en las tablas 7, 8 y 9 la calificación promedio para las recetas de cerveza artesanal con alcohol es de 8,03, 7,03 y 6,50 (en una escala de 1 a 9) para la Hefeweizen, IPA y Porter respectivamente, mientras que para las recetas sin alcohol el resultado promedio fue de 3,97, 3,33 y 3,97 conservando el mismo orden.

También se puede apreciar que en el panel realizado para la receta Hefeweizen 4 personas no fueron capaces de diferenciar entre la cerveza sin alcohol y con alcohol, para la receta Porter 3 personas no fueron capaz de realizar dicha diferenciación y para la receta IPA sólo una persona no supo diferenciar una cerveza de la otra. Sabiendo estos resultados y en base a la tabla de interpretación estadística de las pruebas dúo-trío (tabla3), hay una diferencia entre la cerveza sin alcohol y la cerveza con alcohol completamente significativa, pues para que no hubiese una diferencia percibida entre una cerveza y la otra, cada receta debería contar con 20 panelistas de 30 que no supieran distinguir cuál cerveza estaban probando.

Durante el panel de consumidores realizado, también se realizó la prueba de alcoholemia a cada panelista antes de realizar la evaluación y después de evaluar cada muestra entregada.

Esta prueba, se realizó en un equipo Marca Alert referencia J4X, el cual tiene un rango de medición entre 0.00mg/L y 2.5mg/L.

A continuación se muestran los resultados de las 5 primeras mediciones de alcoholemia en cada receta, donde Alc 1 siempre es la medición antes de empezar la con el panel mientras que Alc 2 y Alc 3 son las mediciones de alcoholemia que se hacían después de que el panelista evaluara una cerveza con o sin alcohol de manera aleatoria.

Tabla 10. Pruebas de alcoholemia en cerveza IPA

Muestra	Alc 1	Alc 2	Alc 3
1	0	1,5	1
2	0	1,5	0,6
3	0,2	0,2	1,5
4	0	0	1
5	0	1,5	0,6

Tabla 11. Pruebas de alcoholemia en cerveza Porter

Muestra	Alc 1	Alc 2	Alc 3
1	0,2	1,5	0,6
2	0	1	0,5
3	0	0	1
4	0,2	0,2	1,5
5	0	1	0,6

Tabla 12. Pruebas de alcoholemia en cerveza Hefeweizen

Muestra	Alc 1	Alc 2	Alc 3
1	0,2	1,5	1
2	0	1	0,6
3	0	0	1,5
4	0	0	1
5	0	1,5	1

Los resultados que se reportan como 0,2 antes de empezar con el panel, se deben al error propio del equipo o a variaciones que pueden causar las gomas de mascar o enjuagues bucales en el momento de realizar la prueba de alcoholemia.

7.3 DISEÑO CONCEPTUAL DE LA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN Y DESALCOHOLIZACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL

A continuación se presenta el diseño conceptual para la producción y desalcoholización de las tres recetas propuestas de cerveza artesanal; en el cual se incluye:

- La descripción del proceso.
- El diagrama de Gantt que muestre los tiempos de las actividades que componen el proceso.
- Los balances de masa para cada producto.
- Los diagramas de flujo de proceso para cada producto con sus respectivas recetas.
- La selección de los equipos necesarios en el proceso.
- El análisis económico.

Las consideraciones bajo las cuales se desarrolló el diseño conceptual fueron las siguientes:

- La planta tendrá una capacidad de producción de 500 litros de cerveza por batch.
- Mensualmente se producirán 2 m³ de cada una de las 6 recetas para un total de 12 m³ por mes.
- Se requieren dos personas para operar la planta: Un maestro cervecero y un asistente.
- Se trabajará un turno de 8 horas por día, 24 días por mes.
- Se producirá un batch en cada turno.
- Antes de cada batch debe realizarse una limpieza de los equipos la cual tendrá una duración de una hora.

7.3.1 Descripción de proceso de producción de cerveza artesanal. El proceso de producción para cualquiera de las tres recetas de cerveza artesanal propuestas está compuesto por las siguientes actividades:

- Moler los granos de malta requeridos en la receta.
- Calentar el agua necesaria para la maceración hasta una temperatura de 72 °C (162 °F) en el tanque de líquidos calientes.
- Mezclar los granos molidos con el agua caliente en el tanque de maceración y conservar una temperatura de 67 °C (152 °F) durante 90 minutos.
- Calentar el agua necesaria para arrastrar los azúcares restantes de los granos hasta una temperatura de 77 °C (170 °F) en el tanque de líquidos calientes.
- Separar el mosto de los granos de malta recirculando el líquido a través del lecho de granos hasta alcanzar la claridad deseada y luego dejando fluir lentamente el mosto al tanque de cocción a medida que se añade el agua previamente calentada al tanque de maceración para arrastrar los azúcares restantes del lecho de granos. Esta etapa se denomina "*Mash out*".

- Calentar el mosto presente en el tanque de cocción hasta ebullición y mantener este estado durante 90 minutos, durante los cuales se deben realizar las adiciones de lúpulo especificadas en la receta (El lúpulo de amargor faltando 60 minutos para finalizar la cocción, el lúpulo de sabor faltando 15 minutos para finalizar la cocción y el lúpulo de aroma faltando 2 minutos para finalizar la cocción).
- Enfriar el mosto hasta 30 °C (86 °F), inmediatamente finalizada la cocción, haciendo fluir el mismo a través del intercambiador de calor hacia el tanque de fermentación en el cual se agrega la levadura previamente rehidratada.
- Mantener una temperatura de 20 °C (68 °F) en el tanque de fermentación durante 14 días.
- Carbonatar la cerveza en el tanque de almacenamiento a 15 °C (60°F) y 15 psi usando el sistema de carbonatación artificial y dejarla reposar por dos días.
- Envasar la cerveza en botellas de 330 ml.

En la Tabla 13 se muestra la duración en horas de cada una de las actividades enunciadas anteriormente:

Tabla 13. Duración de las actividades del proceso de producción

Actividad	Descripción	Duración (horas)
0	Limpieza de equipos	1
1	Molienda de los granos	1
2	Preparación del agua para maceración	1
3	Maceración	1,5
4	Preparación del agua para <i>mash out</i>	1
5	<i>Mash out</i>	0,5
6	Cocción del mosto	1,5
7	Enfriamiento del mosto	0,2
8	Fermentación	336
9	Carbonatación	48
10	Embotellado de la cerveza	1

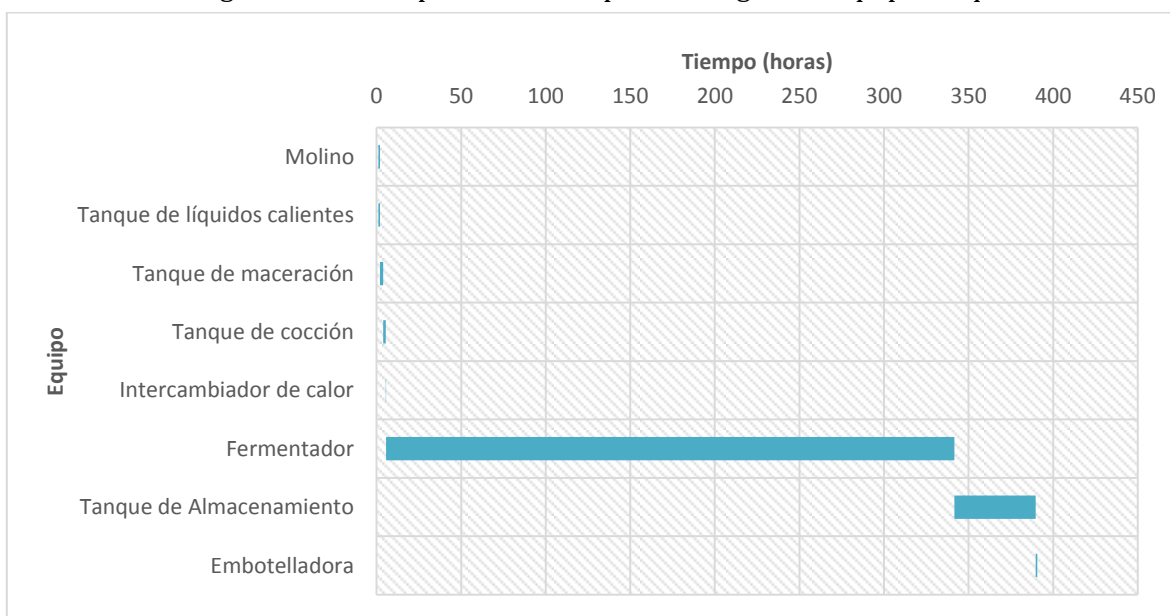
Con el fin de llevar a cabo el dimensionamiento de los equipos para el proceso, organizamos las actividades según el equipo en el que estas se llevan a cabo en la Tabla 14.

Tabla 14. Duracion de las actividades del proceso según equipo

Actividades	Equipo	Duración (horas)
1	Molino	1
2 y 4	Tanque de líquidos calientes	2
3 y 5	Tanque de maceración	2
6	Tanque de cocción	1,5
7	Intercambiador de calor	0,2
8	Fermentador	336
9	Tanque de Almacenamiento	48
10	Embotelladora	1

En la Ilustración 6 un diagrama de Gantt preliminar del proceso mostrando los equipos requeridos y la duración en horas de cada actividad.

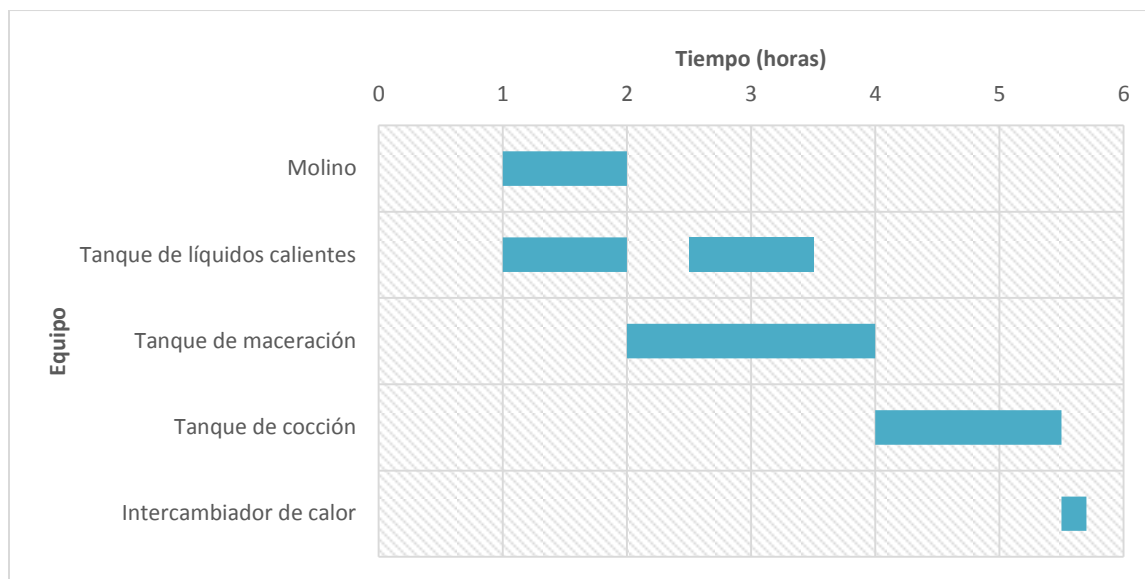
Ilustración 6. Diagrama de Gantt preliminar del proceso según los equipos requeridos



En el diagrama de Gantt presentado en la Ilustración 6 podemos observar que las actividades que se llevan a cabo en el fermentador y en el tanque de almacenamiento tienen una duración mucho mayor a las de las demás actividades lo cual evita que se pueda apreciar fácilmente la información del diagrama. Para representar la información del diagrama de Gantt en una escala más adecuada se presentan en la Ilustración 7 las actividades previas a la fermentación,

las cuales serán agrupadas como la Fase 1 del proceso de producción. La duración total del proceso de producción es de 390,7 horas (16 días, 6 horas y 42 minutos).

Ilustración 7. Diagrama de Gantt de las actividades previas a la fermentación

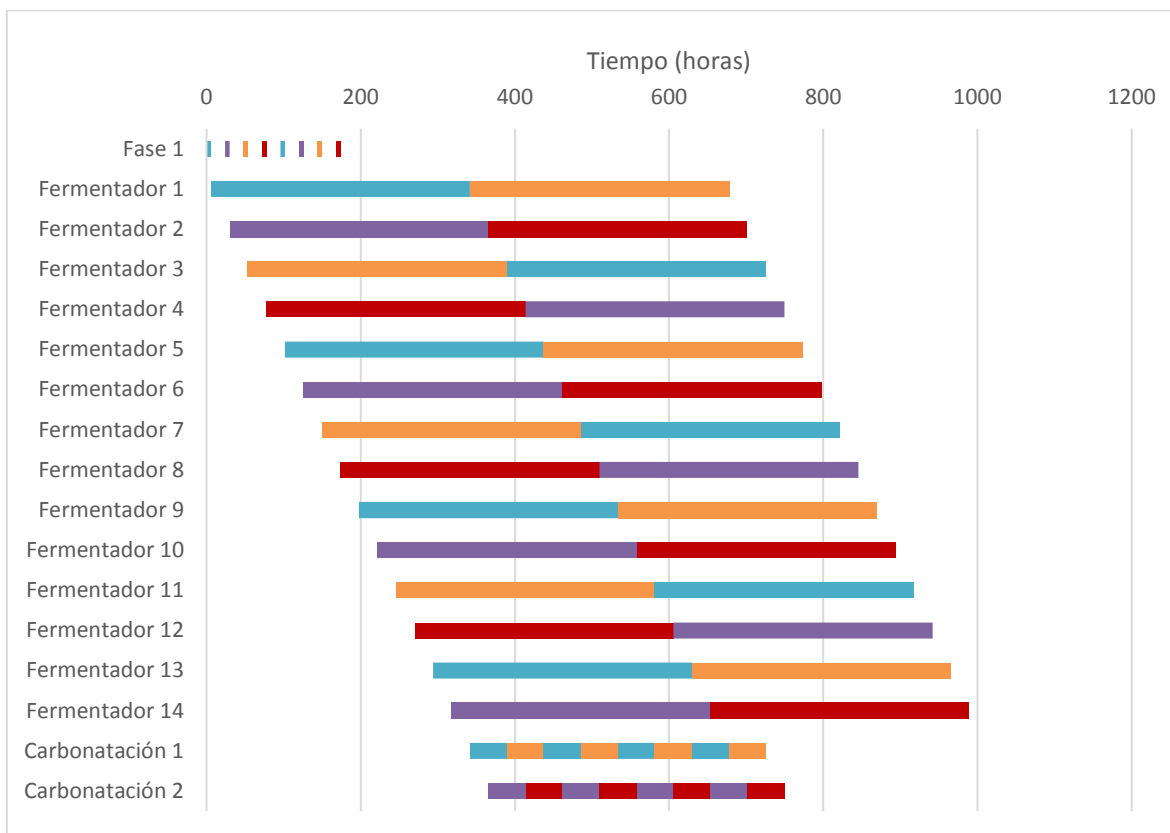


En la Ilustración 7 observamos que se deja una hora libre al comienzo del proceso la cual corresponde al tiempo necesario para llevar a cabo la limpieza de los equipos. La molienda de los granos (Molino) se hace simultáneamente a la preparación del agua para la maceración (Tanque de líquidos calientes). Así mismo, la maceración (Tanque de maceración) es simultánea a la preparación del agua para *mash out* (Tanque de líquidos calientes). La duración total de la Fase 1 del proceso de producción es de 5.7 horas.

Al determinar el tiempo de ciclo del proceso (el tiempo que hay entre los inicios de dos batches consecutivos) siguiendo el esquema de operaciones traslapadas, el cual corresponde al tiempo de la operación de mayor duración, observamos que éste estaría determinado por la fermentación dando como resultado un tiempo de ciclo de 336 horas (14 días). La operación que le sigue en duración a la fermentación es la de la carbonatación, la cual tarda 48 horas (2 días). Con el fin de reducir el tiempo de ciclo del proceso a 24 horas (1 día) será necesario tener 14 fermentadores y 2 tanques de almacenamiento.

En la Ilustración 8 observamos del diagrama de Gantt donde se muestra el proceso utilizando el esquema de operaciones traslapadas con 14 unidades de fermentación y 2 unidades de carbonatación.

Ilustración 8. Diagrama de Gantt con las 14 unidades de fermentación y las 2 de carbonatación



En el diagrama presentado en la Ilustración 8 agrupamos todas las actividades previas a la fermentación en una sola denominada “Fase 1”. Los batches se llevan a cabo siguiendo la secuencia de colores (azul-morado-naranja-rojo) que se observa en las repeticiones de la Fase 1.

Durante los primeros 14 días de producción solo es necesario realizar las actividades previas a la fermentación, sin embargo, en el día 15 la cerveza del batch 1 debe ser pasada del fermentador 1 al tanque de almacenamiento 1 para comenzar su etapa de carbonatación. En el día 17 la cerveza del batch 1 acaba su proceso de carbonatación y pasa a ser embotellada, finalizando así el proceso de producción. A partir del día 17 se tienen las mismas actividades de producción diarias las cuales se enuncian en la Tabla 15 con su duración en horas.

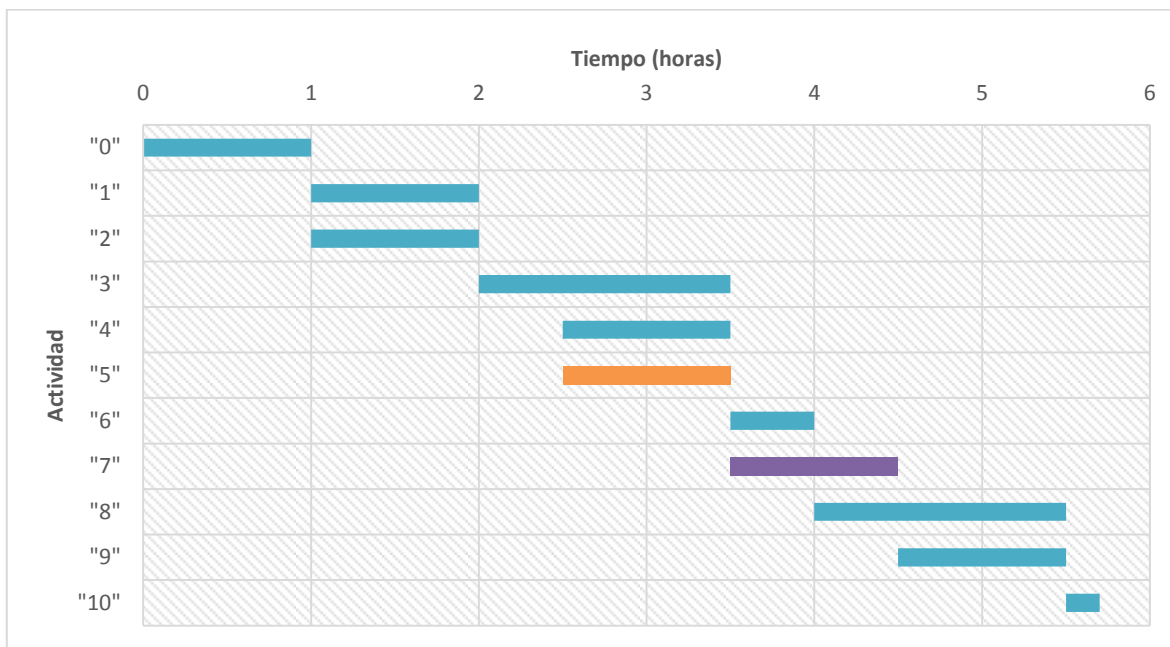
Tabla 15. Duración de actividades del proceso en cada Batch

Actividad	Descripción	Duración (horas)
0	Limpieza de equipos para Batch (X)	1
1	Molienda de los granos para Batch (X)	1
2	Preparación del agua para maceración de Batch (X)	1
3	Maceración de Batch (X)	1,5
4	Preparación del agua para <i>mash out</i> de Batch (X)	1
5	Embotellado del Batch (X-16)	1
6	<i>Mash out</i> de Batch (X)	0,5
7	Preparación del tanque de almacenamiento para el Batch (X-14)	1
8	Cocción del mosto para Batch (X)	1,5
9	Preparación del fermentador para el Batch (X)	1
10	Enfiramiento del mosto para Batch (X)	0,2

En la Tabla 15 observamos que las actividades se enuncian específicamente para la elaboración de un Batch X de manera que, si se está produciendo el batch 17, ese día se embotellará el batch 1 y comenzará su etapa de carbonatación el batch 3.

En la Ilustración 9 se muestra el diagrama de Gantt correspondiente a las actividades enunciadas en la Tabla 15.

Ilustración 9. Diagrama de Gantt para la elaboración de un Batch "X"



Las actividades representadas en la Ilustración 9 se organizaron con el fin de evitar la necesidad de tanques de almacenamiento intermedios, sin embargo, debido a esto debe invertirse 1 hora del proceso de fermentación para la limpieza del fermentador entre batches. Así mismo deben invertirse 2 horas del proceso de carbonatación para llevar a cabo el proceso de embotellado y la limpieza del tanque de almacenamiento entre batches. Las actividades en color azul corresponden al “Batch (X)”, la actividad en verde corresponde al “Batch (X-16)” y la actividad en morado corresponde al “Batch (X-14)”.

7.3.2 Descripción del proceso de producción de cerveza artesanal sin alcohol. Para llevar a cabo la producción de cerveza artesanal sin alcohol es necesario remover el alcohol presente en la cerveza original, lo cual se hará mediante un proceso de sublimación bajo vacío. Debido a esto las actividades para la producción de las tres recetas de cerveza artesanal sin alcohol propuestas son las mismas que las enunciadas en la descripción del proceso de producción de cerveza artesanal a excepción de las siguientes actividades que deben añadirse entre las etapas de fermentación y carbonatación en el proceso:

- Llevar a cabo el proceso de sublimación bajo vacío, el cual tiene una duración aproximada de 48 horas (2 días). En este proceso la cerveza resultante de la fermentación es congelada a una temperatura de -50 °C (-58 °F) y sometida a presión de vacío con el fin de retirar el agua y el alcohol presentes en la muestra.
- Reconstituir el producto resultante de la liofilización con una cantidad de agua suficiente para alcanzar el volumen de cerveza que se tenía luego de la fermentación. Este proceso se lleva a cabo en el mismo tanque de líquidos calientes de donde pasara al tanque de almacenamiento en el que tendrá lugar la carbonatación en el paso siguiente.

En la Tabla 16 se muestran las actividades necesarias para el proceso de producción de cerveza artesanal sin alcohol con su duración en horas.

Tabla 16. Duración del proceso de producción de cerveza sin alcohol

Actividad	Descripción	Duración (horas)
0	Limpieza de equipos	1
1	Molienda de los granos	1
2	Preparación del agua para maceración	1
3	Maceración	1,5
4	Preparación del agua para <i>mash out</i>	1
5	<i>Mash out</i>	0,5
6	Cocción del mosto	1,5
7	Enfriamiento del mosto	0,2
8	Fermentación	336
9	Sublimación bajo vacío	48
10	Reconstitución con agua	0,5
11	Carbonatación	48
12	Embotellado de la cerveza	1

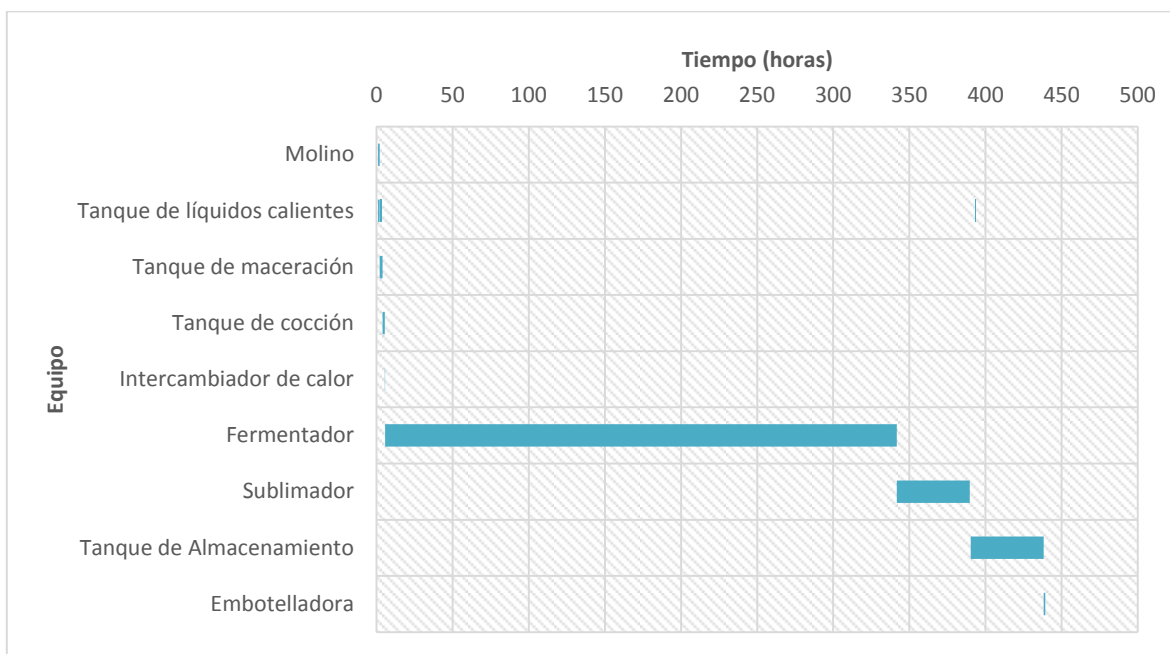
En la Tabla 17 se muestran las actividades según los equipos en los que estas se lleven a cabo.

Tabla 17. Duración del proceso de producción de cerveza sin alcohol según el equipo

Actividades	Equipo	Duración (horas)
1	Molino	1
2 y 4	Tanque de líquidos calientes	2
3 y 5	Tanque de maceración	2
6	Tanque de cocción	1,5
7	Intercambiador de calor	0,2
8	Fermentador	336
9	Sublimador	48
10	Tanque de líquidos calientes	0,5
11	Tanque de Almacenamiento	48
12	Embotelladora	1

En la Ilustración 10 se muestra el diagrama de Gantt que representa la información de la Tabla 17.

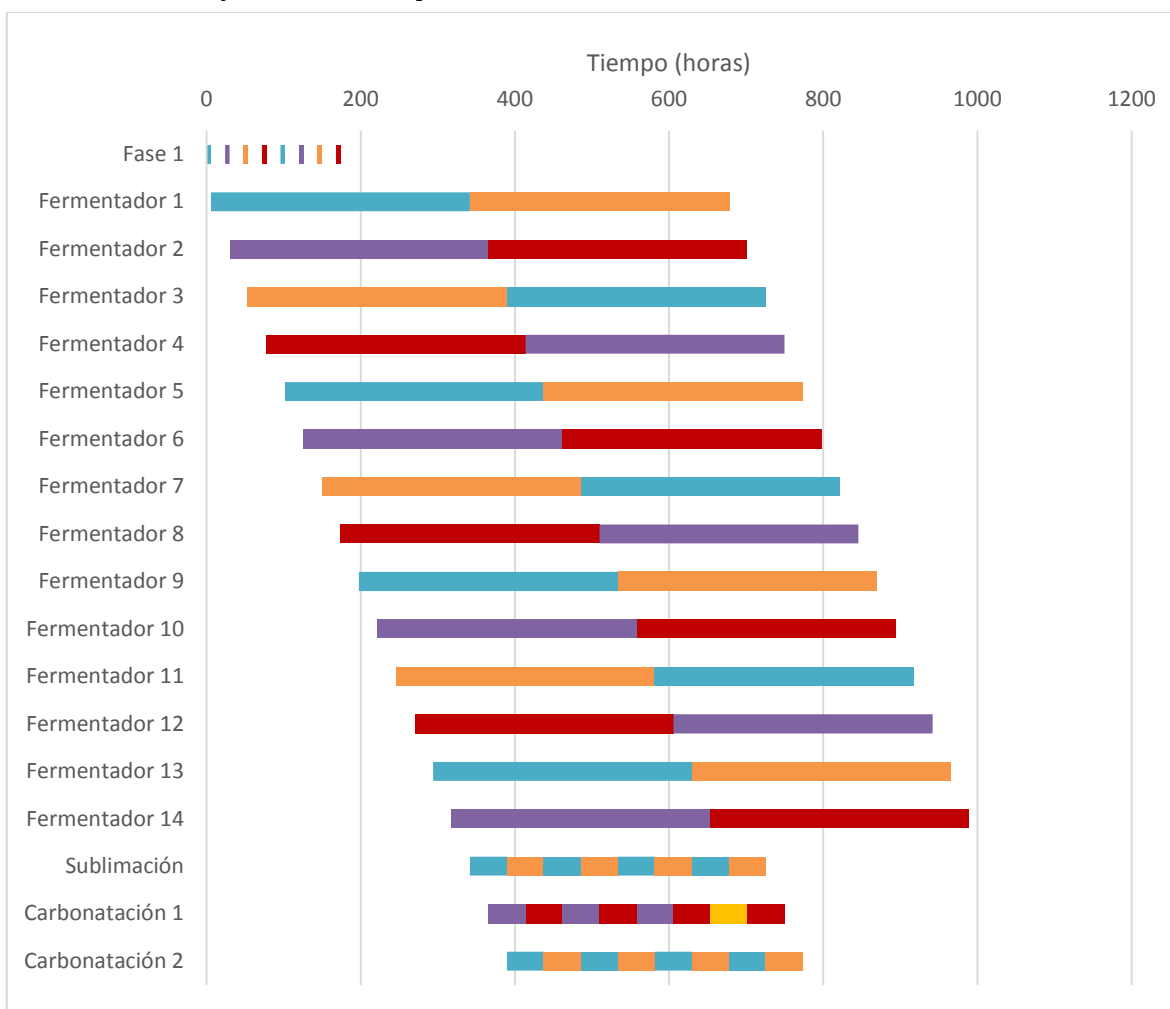
Ilustración 10. Diagrama de Gantt para las actividades del proceso de elaboración de cerveza sin alcohol según cada equipo



Debido a que el proceso de sublimación bajo vacío tiene una duración de 48 horas sería necesario el uso de dos sublimadores para mantener el tiempo de ciclo de 24 horas en el proceso, sin embargo, ya que solo la mitad de las recetas (las cervezas sin alcohol) requieren de esta etapa del proceso, es posible producir de manera intercalada recetas con alcohol y recetas sin alcohol pudiendo mantener así el tiempo de ciclo de 24 horas en el proceso con un solo sublimador.

En la Ilustración 11 se muestra en diagrama de Gantt del proceso utilizando el esquema de operaciones traslapadas con 14 fermentadores, dos tanques de almacenamiento para la carbonatación y un sublimador para la desalcoholización de la mitad de las recetas producidas.

Ilustración 11. Diagrama de Gantt del proceso con 14 fermentadores, 2 tanques de almacenamiento y 1 sublimador para desalcoholización



Al igual que en la Ilustración 8, en la Ilustración 11 agrupamos todas las actividades previas a la fermentación en una sola etapa denominada “Fase 1”. Además se usa la misma secuencia de colores (azul-morado-naranja-rojo) para representar la secuencia de producción de los batches. Observamos como el Batch 1 representado en color azul comienza a ser producido en la “Fase 1”, pasa luego al “Fermentador 1” tras lo cual pasa a ser desalcoholizado en el sublimador y finalmente es carbonatado en el tanque de almacenamiento 2 (“Carbonatación 2”). El Batch 2 representado en color amarillo comienza de igual manera en la Fase 1 y pasa luego a ser fermentado en el “Fermentador 2”, sin embargo, luego de la fermentación éste pasa directamente a ser carbonatado en “Carbonatación 1” ya que se trata de un batch con alcohol.

Como se observa en la Ilustración 11, a pesar de que el Batch 1 es el primero en comenzar a producirse, el primer batch en finalizar el proceso de producción es el Batch 2. Esto se debe a que la producción de cerveza sin alcohol en nuestro proceso tiene una duración 48 horas mayor que la de la producción de cerveza con alcohol.

Siguiendo el esquema presentado en la Ilustración 11 todos los batches impares serán de cerveza sin alcohol y los batches pares serán de cerveza con alcohol. Este ordenamiento hace que las actividades diarias en la planta varíen entre los días pares y los días impares de producción. Las actividades de los días pares, en los cuales se produce cerveza con alcohol, fueron representadas previamente en la Tabla 15 y la Ilustración 9, sin embargo, la producción de cerveza sin alcohol requiere de etapas adicionales en el proceso, por lo cual los días impares de producción requieren de actividades adicionales.

En la Tabla 18 se presentan las actividades de los días impares para la producción de cerveza sin alcohol con su duración en horas.

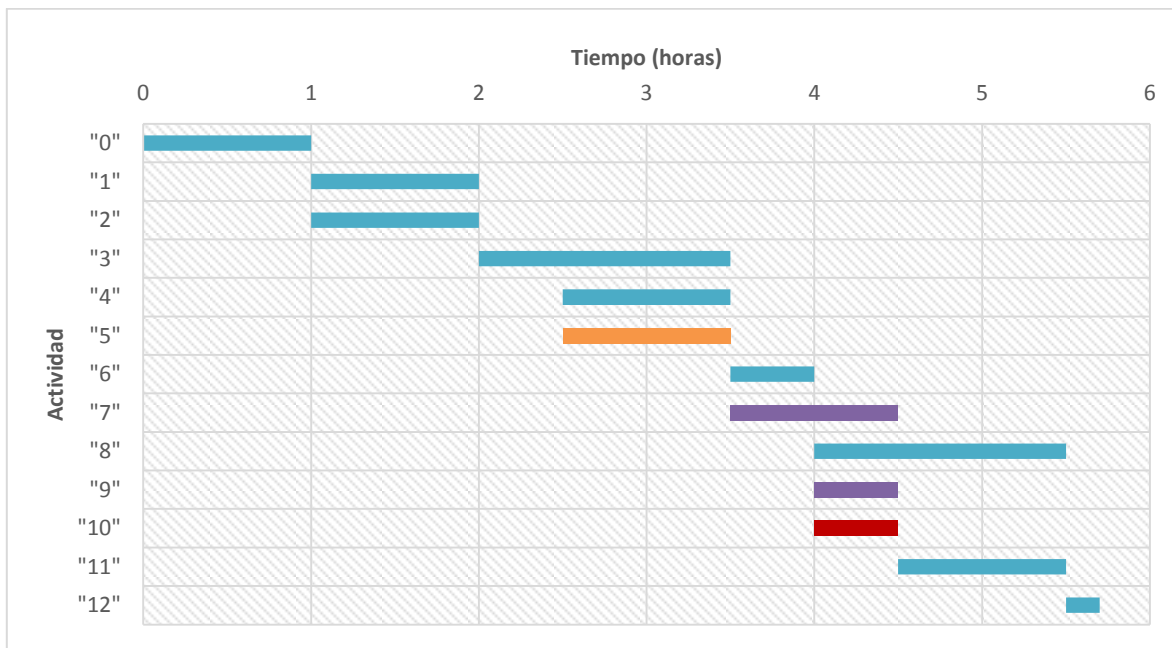
Tabla 18. Duración de las actividades de los días impares en el proceso de producción de cerveza sin alcohol

Actividad	Descripción	Duración (horas)
0	Limpieza de equipos para Batch (X)	1
1	Molienda de los granos para Batch (X)	1
2	Preparación del agua para maceración de Batch (X)	1
3	Maceración de Batch (X)	1,5
4	Preparación del agua para <i>mash out</i> de Batch (X)	1
5	Embotellar Batch (X-18)	1
6	<i>Mash out</i> de Batch (X)	0,5
7	Preparación del tanque de almacenamiento para el Batch (X-16)	1
8	Cocción del mosto para Batch (X)	1,5
9	Reconstitución con agua del Batch (X-16)	0,5
10	Preparación del equipo de sublimación para el Batch (X-14)	0,5
11	Preparación del fermentador para el Batch (X)	1
12	Enfriamiento del mosto para Batch (X)	0,2

Las actividades mostradas en la Tabla 18 se refieren a un “Batch X” pero incluyen actividades para batches anteriores. De esta manera, si se está produciendo el Batch 19, ese día se embotellará el Batch 1, pasará a carbonatación el Batch 3 y comenzará el proceso de sublimación el Batch 5.

En la Ilustración 12 se ordenan las actividades de los días impares de producción en un diagrama de Gantt.

Ilustración 12. Diagrama de Gantt para las actividades de los días impares



En el diagrama presentado en la Ilustración 12, las actividades en color azul corresponden al "Batch (X)", las actividades representadas en morado corresponden al "Batch (X-16)", la actividad representada en color naranja corresponde al "Batch (X-18)" y la actividad representada en color rojo corresponde al "Batch (X-14)".

7.3.3 Dimensionamiento y selección de los equipos.

- **Selección del molino (Z-101).** Para llevar a cabo la molienda de los granos de malta se utiliza comúnmente un molino de rodillos, el cual permite triturar los granos manteniendo al mismo tiempo la cáscara lo más completa posible. El molino debe poder procesar al menos 161.81 Kg de malta por hora, que corresponde a la mayor cantidad de malta requerida por las recetas a producir.
- **Dimensionamiento del tanque de líquidos caliente (R-101).** Para llevar a cabo el dimensionamiento de todos los tanques necesarios en el proceso se utilizó el factor de dimensionamiento “S” que se calcula con la siguiente ecuación:

$$S_j = \frac{1}{\rho_j} * \frac{m_j}{m_f}$$

En donde “S_j” es el factor de dimensionamiento del equipo, “ρ_j” es la densidad de la sustancia presente en el equipo, “m_j” es la masa total que ingresa al equipo y “m_f” es la masa de producto que se obtiene al final de todo el proceso.

A pesar de que el tanque de líquidos calientes es usado principalmente para la preparación del agua para la maceración y el *mash out*, en nuestro proceso este tanque también es usado para llevar a cabo la reconstitución de la cerveza luego del proceso de desalcoholización la cual requiere un mayor volumen que la preparación del agua. Debido a esto los datos que se usaron para el dimensionamiento del tanque de líquidos calientes fueron los de la etapa de reconstitución.

La cantidad de masa que entra al tanque (m_{R-101}) es de 510 Kg, la cantidad de producto final (m_f) es de 511.95 Kg y la densidad de la solución (ρ_{R-101}) es de 1020 Kg/m³, la cual fue medida utilizando un hidrómetro en las muestras desalcoholizadas.

$$S_{R-101} = \frac{1}{1020 \frac{Kg \text{ Solución}}{m^3 \text{ Solución}}} * \frac{510 \text{ Kg Solución}}{511.95 \text{ Kg Producto}}$$

$$S_{R-101} = 9.77 * 10^{-4} \frac{m^3 \text{ Solución}}{Kg \text{ Producto}}$$

El volumen requerido por un equipo se obtiene al multiplicar su factor de dimensionamiento por la masa de producto final.

$$V_{R-101} = 9.77 * 10^{-4} \frac{m^3 \text{ Solución}}{Kg \text{ Producto}} * 511.95 \text{ Kg Producto}$$

$$V_{R-101} = 0.5 \text{ m}^3$$

Usando el valor de L/D=3 recomendado en la heurística (Walas, 1990) el tanque tendría las siguientes dimensiones:

$$V_{R-101} = \pi * \frac{D_{TLC}^2}{4} * L_{TLC}$$

$$V_{R-101} = \pi * \frac{D_{TLC}^2}{4} * (3 * D_{TLC})$$

$$D_{R-101} = \sqrt[3]{\frac{4 * V_{TLC}}{3 * \pi}}$$

$$D_{R-101} = 0.6 \text{ m}$$

$$L_{R-101} = 1.79 \text{ m}$$

Adicionalmente el tanque de líquidos calientes requiere un calentador que permita llevar hasta ebullición el agua necesaria para los procesos de maceración y *mash out*. Para calcular la energía necesaria para llevar a cabo esta operación se tomó un calor específico para el agua de 4.2 KJ/(K * Kg). El agua debe pasar de una temperatura aproximada de 20 °C hasta 95°C. La mayor cantidad de agua que debe calentarse en el tanque de líquidos calientes es de 507.96 Kg, necesarios para el *mash out* de la cerveza “Porter”. Para llevar a cabo esta operación se dispone de un tiempo máximo de una hora.

$$Q \approx m * Cp * \Delta T$$

$$Q \approx 507.96 \text{ Kg} * 4.2 \frac{\text{KJ}}{^\circ\text{K} * \text{Kg}} * (368.15^\circ\text{K} - 293.15^\circ\text{K})$$

$$Q \approx 160007.4 \text{ KJ}$$

$$Q(Kw) \approx \frac{160007.4 \text{ KJ}}{3600 \text{ s}}$$

$$Q(Kw) \approx 44.45 \text{ Kw}$$

Por último, el tanque de líquidos calientes requiere de un agitador para llevar a cabo la reconstitución de la cerveza luego de ser desalcoholizada. Al comienzo de dicho proceso la mezcla presenta una densidad relativa mucho mayor que la final (1.04) debido a que el agua de agrega paulatinamente a la totalidad del polvo obtenido por lo cual la potencia que requiere este agitador según la heurística es de 10 HP /1000 gal (Walas, 1990).

$$P = \frac{132.09 \text{ gal}}{1000 \text{ gal}} * 10HP$$

$$P = 1.32 \text{ HP}$$

$$P = 0.98 \text{ Kw}$$

- **Dimensionamiento del tanque de maceración (R-102).** Para calcular el volumen del tanque de maceración se calculó su factor de dimensionamiento “S” usando los datos de la etapa de maceración. Durante esta etapa una parte del agua, la cual depende de la cantidad de granos a macerar y el tipo de cerveza a producir, se agrega al iniciar el proceso y la cantidad de agua restante se agrega al final. De esta manera la cantidad de mezcla que ingresa al tanque de maceración (m_{R-102}) es de 611.46 Kg y su densidad (ρ_{R-102}) es aproximadamente de 800 Kg/m³.

$$S_{R-102} = \frac{1}{800 \frac{\text{Kg Mezcla}}{\text{m}^3 \text{ Mezcla}}} * \frac{611.46 \text{ Kg Mezcla}}{511.95 \text{ Kg Producto}}$$

$$S_{R-102} = 1.49 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3 \text{ Mezcla}}{\text{Kg Producto}}$$

El volumen que debe tener el tanque de maceración está dado por el producto entre su factor de dimensionamiento y la cantidad de producto final.

$$V_{R-102} = 1.49 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3 \text{ Mezcla}}{\text{Kg Producto}} * 511.95 \text{ Kg Producto}$$

$$V_{R-102} = 0.76 \text{ m}^3$$

Con un L/D=3 y siguiendo el mismo procedimiento usado en el cálculo de las dimensiones del tanque de líquidos calientes se calcularon las dimensiones del tanque de maceración.

$$D_{R-102} = 0.69 \text{ m}$$

$$L_{R-102} = 2.01 \text{ m}$$

El tanque de maceración requiere también de un agitador para mezclar los granos en el agua al comienzo de esta etapa. Debido a la gran cantidad de granos presentes en la maceración el agitador requiere de una potencia de 10 HP/1000 gal al igual que en el caso del tanque de líquidos calientes.

$$P = \frac{200.77 \text{ gal}}{1000 \text{ gal}} * 10 \text{ HP}$$

$$P = 2.01 \text{ HP}$$

$$P = 1.5 \text{ Kw}$$

- **Dimensionamiento del tanque de cocción (R-103).** Usando los datos de la etapa de cocción se calculó el factor de dimensionamiento del tanque de cocción. La cantidad de masa que ingresa a esta etapa (m_{R-103}) es de 769.43 Kg y su densidad (ρ_{R-103}) es de 1040 Kg/m³

$$S_{R-103} = \frac{1}{1040 \frac{\text{Kg Mezcla}}{\text{m}^3 \text{ Mezcla}}} * \frac{769.43 \text{ Kg Mezcla}}{511.95 \text{ Kg Producto}}$$

$$S_{R-103} = 1.45 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3 \text{ Mezcla}}{\text{Kg Producto}}$$

A partir de este factor de dimensionamiento se calculó el volumen que requiere el tanque de cocción.

$$V_{R-103} = 1.45 * 10^{-3} \frac{m^3 \text{ Mezcla}}{Kg \text{ Producto}} * 511.95 \text{ Kg Producto}$$

$$V_{R-103} = 0.74 \text{ m}^3$$

Con un L/D=3 y siguiendo el mismo procedimiento usado en el cálculo de las dimensiones del tanque de líquidos calientes se calcularon las dimensiones del tanque de cocción.

$$D_{R-103} = 0.68 \text{ m}$$

$$L_{R-103} = 2.04 \text{ m}$$

Por otro lado el tanque de cocción requiere de un calentador para llevar el mosto hasta su temperatura de ebullición y mantener este estado durante toda esta etapa. El mosto debe calentarse desde aproximadamente 60 °C hasta 95°C y luego debe evaporar 244.43 Kg de agua. Para esta etapa se cuenta con un tiempo de 1.5 horas. Para el cálculo de la potencia se utilizó una entalpía de vaporización para el agua de 2257 KJ/Kg y un calor específico para el mosto igual al del agua (42 KJ/(K * Kg)).

$$Q \approx (m_{mosto} * Cp_{mosto} * \Delta T_{mosto}) + (\Delta H_{vap_{agua}} * m_{agua})$$

$$Q \approx \left[769.43 \text{ Kg} * 4.2 \frac{KJ}{^\circ K * Kg} * (368.15^\circ K - 333.15^\circ K) \right] + \left[2257 \frac{KJ}{Kg} * 244.43 \text{ Kg} \right]$$

$$Q \approx 113106.21 \text{ KJ} + 551678.51 \text{ KJ}$$

$$Q \approx 664784.72 \text{ KJ}$$

$$Q(Kw) \approx \frac{664784.72 \text{ KJ}}{5400 \text{ s}}$$

$$Q(Kw) \approx 123.11 \text{ Kw}$$

Además el tanque de cocción requiere de un agitador el cual requiere de hasta 0.5 HP/1000 gal de potencia según la heurística.

$$P = \frac{195.49 \text{ gal}}{1000 \text{ gal}} * 0.5 \text{ HP}$$

$$P = 0.1 \text{ HP}$$

$$P = 0.07 \text{ Kw}$$

- **Dimensionamiento del intercambiador de calor (W -101).** El intercambiador de calor es usado para enfriar el mosto luego del proceso de cocción hasta una temperatura apta para la levadura que debe ser añadida al comienzo del proceso de fermentación. La cantidad de mosto que debe ser enfriada por el intercambiador es de 525 Kg con una densidad de 1050 Kg/m³. Esta corriente debe pasar de 95 °C a 30 °C. El tiempo de esta etapa no debe superar los 12 minutos, por lo cual el flujo másico debe ser de al menos 43.75 Kg/minuto. Para el dimensionamiento de este intercambiador de calor se utilizó la heurística del libro *“Chemical Process Equipment Selection and Design”* de Stanley M. Walas.

$$Q = U * A * f * \Delta T_{LM}.$$

El coeficiente global de transferencia de calor “U” estimado es de 150 BTU/(h*ft²*F) debido a que el sistema es agua-líquido. El área de transferencia de calor “A” es la variable que queremos hallar. Para el factor “f” se toma un valor de 0.85 ya que no hay cambio de fase.

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

Según la heurística el agua de enfriamiento entra a 80 °F y sale a 115°F. La corriente que debemos enfriar ingresa al intercambiador a 203 °F y debe salir a 86 °F.

$$\Delta T_{LM} = \frac{117^\circ F - 35^\circ F}{\ln \frac{117^\circ F}{35^\circ F}}$$

$$\Delta T_{LM} = 67.95^\circ F$$

Se calculó el calor “Q” a partir del cambio de temperatura que debe experimentar el mosto.

$$Q = m_{mosto} * Cp_{mosto} * \Delta T_{mosto}$$

$$Q = 0.73 \frac{Kg}{s} * 4.2 \frac{KJ}{^{\circ}K * Kg} * 65 ^{\circ}K$$

$$Q = 199.29 Kw$$

$$Q = 680006 \frac{BTU}{h}$$

A partir del calor calculado hallamos la cantidad de agua de servicio requerida y el área de transferencia de calor del intercambiador.

$$Q = m_{agua} * Cp_{agua} * \Delta T_{agua}$$

$$m_{agua} = \frac{Q}{Cp_{agua} * \Delta T_{agua}}$$

$$m_{agua} = \frac{199.29 Kw}{4.2 \frac{KJ}{^{\circ}K * Kg} * (319.26 ^{\circ}K - 299.82 ^{\circ}K)}$$

$$m_{agua} = 2.44 \frac{Kg}{s}$$

$$A = \frac{Q}{U * f * \Delta T_{LM}}$$

$$A = \frac{680006 \frac{BTU}{h}}{150 \frac{BTU}{h * ft^2 * ^{\circ}F} * 0.85 * 67.95 ^{\circ}F}$$

$$A = 78.49 ft^2$$

$$A = 7.29 m^2$$

- **Dimensionamiento de los fermentadores (C-101).** Usando los datos de la etapa de fermentación se calculó el factor de dimensionamiento para los tanques de fermentación. La cantidad de masa que ingresa a esta etapa (m_{C-101}) es de 525.49 Kg y su densidad (ρ_{C-101}) es de 1050 Kg/m³, la cual fue medida mediante un hidrómetro en la cerveza antes de la fermentación.

$$S_{C-101} = \frac{1}{1050 \frac{Kg Mezcla}{m^3 Mezcla}} * \frac{525.49 Kg Mezcla}{511.95 Kg Producto}$$

$$S_{C-101} = 9.78 * 10^{-4} \frac{m^3 Mezcla}{Kg Producto}$$

A partir de este factor de dimensionamiento se calculó el volumen que requieren los tanques de fermentación.

$$V_{C-101} = 9.78 * 10^{-4} \frac{m^3 Mezcla}{Kg Producto} * 511.95 Kg Producto$$

$$V_{C-101} = 0.5 m^3$$

Con un L/D=3 y siguiendo el mismo procedimiento usado en el cálculo de las dimensiones del tanque de líquidos calientes se calcularon las dimensiones de los tanques de fermentación.

$$D_{C-101} = 0.6 m$$

$$L_{C-101} = 1.79 m$$

- **Dimensionamiento de los tanques de almacenamiento (B-101).** Para el dimensionamiento de los tanques de almacenamiento usamos los datos de la etapa de carbonatación. La cantidad de masa que ingresa a esta etapa (m_{B-101}) es de 511.95 Kg y su densidad (ρ_{B-101}) es de 1020 Kg/m³, la cual fue medida mediante un hidrómetro en la cerveza luego de la fermentación.

$$S_{B-101} = \frac{1}{1020 \frac{Kg Solución}{m^3 Solución}} * \frac{511.95 Kg Solución}{511.95 Kg Producto}$$

$$S_{B-101} = 9.8 * 10^{-4} \frac{m^3 Solución}{Kg Producto}$$

A partir de este factor de dimensionamiento se calculó el volumen que requieren los tanques de almacenamiento.

$$V_{B-101} = 9.8 * 10^{-4} \frac{m^3 Solución}{Kg Producto} * 511.95 Kg Producto$$

$$V_{B-101} = 0,5 \text{ m}^3$$

Con un $L/D=3$ y siguiendo el mismo procedimiento usado en el cálculo de las dimensiones del tanque de líquidos calientes se calcularon las dimensiones de los tanques de almacenamiento.

$$D_{B-101} = 0.6 \text{ m}$$

$$L_{B-101} = 1.79 \text{ m}$$

- **Selección del sublimador (F-101).** Para la etapa de desalcoholización es necesario el uso de un sublimador capaz de procesar batches de 506 Kg de cerveza.
- **Selección de la embotelladora (A-101).** En el proceso se requiere embotellar 500 L de cerveza en un tiempo de 1 hora. Éstas serán embotelladas en unidades de 0.33 L cada una, para un total de 1500 unidades por batch.
- **Dimensionamiento de las bombas.** En nuestro proceso de producción de cerveza se requieren varias bombas para transportar los fluidos. El valor de la gravedad usado para el dimensionamiento de estas bombas es de 9.776 m/s^2 .

Bomba (P-101): Esta bomba es utilizada para cargar el agua al tanque de líquidos calientes. Esta bomba debe transportar 507.96 Kg de agua en un minuto hasta una altura de 1.79 m. Para estas características la heurística recomienda una bomba axial con una eficiencia de 65% (Walas, 1990).

Para calcular el cambio de presión partimos de la ecuación de Bernoulli.

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

La velocidad permanece constante ya que ni el caudal ni el diámetro de la tubería varían, por lo cual el cambio de presión se debe únicamente a la altura del tanque.

$$\Delta P = \rho g(h_2 - h_1)$$

$$\Delta P = 998.29 \frac{Kg}{m^3} * 9.776 \frac{m}{s^2} * (1.79 m - 0 m)$$

$$\Delta P = 17.47 KPa$$

$$\Delta P = 2.53 psi$$

$$Q (gpm) = 134.42 gpm$$

A partir de estos datos calculamos la potencia de la bomba en HP usando la ecuación propuesta por la heurística (Walas, 1990).

$$W(HP) = \frac{Q(gpm) * \Delta P(psi)}{1714 * Eficiencia}$$

$$W(HP) = \frac{134.42 gpm * 2.53 psi}{1714 * 0.65}$$

$$W(HP) = 0.31 HP$$

Siguiendo este modelo de cálculo se dimensionaron las otras 4 bombas necesarias en el proceso. En la Tabla 19 se muestran las potencias de cada una de las bombas, los valores empleados para calcularlas y una descripción de sus funciones en el proceso.

Tabla 19. Especificaciones de cada una de las bombas del proceso

Bomba	Descripción	Q (gpm)	dP(psi)	n (%)	W(HP)	W (Kw)
P-101	Cargar agua al TLC.	134,42	2,53	65%	0,31	0,23
P-102	Cargar agua al TM.	134,42	2,85	65%	0,34	0,26
P-103	<i>Mash out.</i>	6,49	3,01	65%	0,02	0,01
P-104	Flujo al intercambiador.	11,01	11,66	65%	0,12	0,09
P-105	Cargar cerveza al TA.	137,17	2,57	65%	0,32	0,24

En el cálculo de la bomba 4 encargada de hacer fluir el mosto a través del intercambiador de calor hacia el fermentador fue necesario incluir una caída de presión de 9 psi debida al intercambiador de calor.

7.3.4 Balance de masa del proceso. A continuación se presenta el balance de masa paso a paso para la producción de la receta “India Pale Ale sin Alcohol”.

Los cálculos se presentan para la producción de un batch de 500 litros. Para llevar a cabo las conversiones de volumen a masa de agua se tomó su densidad a 20 °C que corresponde a 998.29 Kg/ m³.

En la primera etapa del proceso ingresan al molino 146.61 Kg de malta, de los cuales el 81.63% (119.68 Kg) es de tipo “*Pale Ale*”, el 8.16% (11.97 Kg) es de tipo “*Crystal*”, el 6.12% (8.98 Kg) es de tipo “*Munich*” y el 4.08% (5.98 Kg) es malta de trigo.

A la etapa de maceración ingresa toda la malta que sale del molino y 943.38 Kg de agua. Una parte del agua que ingresa al proceso de maceración queda atrapada en las cascaras de los granos que quedan en el tanque de maceración luego del “*Mash out*”, generando un subproducto que recibe el nombre de afrecho. Esta cantidad depende de la masa total de granos que pasen por el proceso de maceración y corresponde a 0.2 galones de agua por cada libra de granos (0.00166908 m³ de agua por cada Kg de granos) (Daniels, 2000). La cantidad de agua que queda en el afrecho es de 244.29 Kg. Basados en los resultados obtenidos durante el proceso de producción la cerveza se espera obtener 737.5 L de solución con una densidad relativa de 1.04 luego del proceso de maceración, lo cual corresponde a 767 Kg de solución. La cantidad de agua presente en esta solución (699.09 Kg) es igual a la diferencia entre el agua que ingresó a la maceración (943.38 Kg) y el agua que quedó atrapada en el afrecho (244.29 Kg). La cantidad de la solución que se debe a los granos (67.91 Kg) es igual a la diferencia entre la masa total de la solución (767 Kg) y la cantidad de agua presente en la misma (699.09 Kg). De acuerdo a esto, la cantidad de granos que quedan en el afrecho (78.7 Kg) es igual a la diferencia entre la cantidad de granos que entran al proceso de maceración (146.61 Kg) y la cantidad de granos que quedan en solución (67.91 Kg). De esta manera, la cantidad de afrecho que sale como subproducto del proceso de maceración es de 322.99 Kg.

Durante la etapa de cocción se le agregan 2.43 Kg de lúpulo a la solución proveniente de la maceración. De este lúpulo 1.32 Kg son de amargor, 0.53 Kg son de sabor y 0.58 Kg son de aroma. Además, durante la etapa de cocción, es necesario concentrar la solución hasta que esta alcance un densidad relativa de 1.05 con un volumen de 500 L que corresponde al tamaño del batch. De acuerdo a esto, se espera que la solución después de la cocción, que recibe el nombre de mosto, tenga una masa de 525 Kg. El agua que debe evaporarse en el

proceso de cocción (244.43 Kg) corresponde a la diferencia entre el total de entradas a la cocción (769.43 Kg) y la masa del mosto luego de la cocción (525 Kg).

En la etapa de fermentación se agrega al mosto la levadura (0.29 Kg) y lúpulo de aroma adicional (0.49 Kg). Al final de la fermentación no se observa un cambio significativo en el volumen de cerveza (500 L), sin embargo, su densidad relativa baja hasta 1.012 lo cual corresponde a una masa de 506 Kg. Con este cambio en la densidad relativa de la cerveza se estima mediante el uso del hidrómetro que su contenido alcohólico sea de 5% v/v, lo cual corresponde a 25 L de etanol. Tomando la densidad del etanol como 0.791 Kg/L se calcula que la masa de etanol presente en la cerveza es de 19.78 Kg. Durante la fermentación se produce una molécula de dióxido de carbono por cada molécula de etanol producida, por lo que a partir de esto calculamos la masa de dióxido de carbono que sale como residuo en el proceso. Sabiendo que el peso molecular del etanol es de 46 Kg/Kmol y el peso molecular del dióxido de carbono es de 44 Kg/Kmol se espera que la cantidad de dióxido de carbono producido en la fermentación sea de 18.92 Kg.

A la etapa de sublimación entra la cerveza producto de la fermentación y sale la cerveza en polvo luego de que se le remueve el agua y el etanol presentes. La cantidad de cerveza en polvo que se obtiene es de 14.89 Kg. La diferencia entre la cantidad de cerveza que ingreso a la etapa de sublimación (506 Kg) y la cantidad de cerveza en polvo producida (14.89 Kg) corresponde a la cantidad de hielo que se genera como residuo (491.11 Kg) el cual contiene agua, etanol y otros componentes de la cerveza que se arrastran en el proceso.

Luego de ser desalcoholizada la cerveza debe ser reconstituida con agua antes de la carbonatación. Al final de este proceso se obtienen 500 L de una cerveza con una densidad relativa de 1.01 lo cual equivale a 505 Kg de cerveza. La cantidad de agua que debe añadirse en esta etapa (490.11 Kg) corresponde a la diferencia entre la cantidad de cerveza producida (505 Kg) y la cantidad de cerveza en polvo que ingresa al proceso (14.89 Kg).

Por último la cerveza pasa a ser carbonatada. La cantidad de dióxido de carbono necesario en la carbonatación depende del estilo de cerveza y para el caso de la *India Pale Ale* es de 3.9 g/L. Según esto, para producir 500 L de cerveza será necesario añadir 1.95 Kg de dióxido de carbono. La cantidad de cerveza resultante al finalizar el proceso es de 506.95 Kg.

7.3.5 Análisis económico del proceso de elaboración de cerveza artesanal con alcohol y sin alcohol. Para determinar si la producción de cerveza artesanal con alcohol y sin alcohol es rentable económicamente, se calcularon los valores de los indicadores económicos TIR (tasa interna de retorno) y VPN (Valor presente neto), por medio de un flujo de caja de 5 años. Para este flujo de caja se tuvieron en cuenta los costos de capital, los costos operativos y los impuestos.

7.6.7.1 Costos de capital. Para calcular el costo de los equipos se utilizó el apéndice “*Cost Equations and Curves for the CAPCOST Program*” del libro “*Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes*” (Turton, 2009).

A continuación se muestra el modelo de cálculo usado para hallar el costo de los equipos necesarios en el proceso aplicado al recipiente vertical necesario para el tanque de líquidos calientes (R-101).

Primero se calculó el C_p^0 del recipiente a partir de los parámetros K_1 , K_2 y K_3 hallados en el apéndice y el parámetro de tamaño para el equipo (A), que para el caso de este recipiente es de 0.5 m^3 .

$$\log_{10} C_p^0 = K_1 + K_2 \log_{10} A + K_3 (\log_{10} A)^2$$

$$\log_{10} C_p^0 = 3.4974 + 0.4485 \log_{10} 0.5 + 0.1074 (\log_{10} 0.5)^2$$

$$C_p^0 = \$2355.7$$

Luego es necesario calcular el F_{BM} denominada factor de módulo desnudo a las condiciones de presión y con el material que se requiere en el equipo. Se debe calcular además el F_{BM}^0 , que corresponde al factor de módulo desnudo a presión atmosférica y con acero al carbono como material.

$$F_{BM} = B_1 + B_2 * F_M * F_P$$

Las constantes B_1 y B_2 se encuentran en las tablas del apéndice, el factor de presión F_P es 1 ya que el equipo trabaja a presión atmosférica y el factor de material F_M se toma de las tablas del apéndice teniendo en cuenta el material requerido (acero inoxidable en este caso).

$$F_{BM} = 2.25 + 1.82 * 3.1 * 1$$

$$F_{BM}^0 = 2.25 + 1.82 * 1 * 1$$

$$F_{BM} = 7.892$$

$$F_{BM}^0 = 4.07$$

A partir de estos valores se calcula el costo de módulo desnudo del equipo.

$$C_{BM} = C_p^0 * F_{BM}$$

$$C_{BM} = \$2355.7 * 7.892$$

$$C_{BM}^0 = \$2355.7 * 4.07$$

$$C_{BM} = \$18591.18$$

$$C_{BM}^0 = \$9587.7$$

En la Tabla 20 se muestran los costos de módulo desnudo de los equipos en dólares y hallados siguiendo este modelo de cálculo, a excepción del molino, el sublimador y la embotelladora los cuales fueron cotizados según los requerimientos de estos en el proceso.

Tabla 20. Costo de módulo desnudo de los equipos

	Equipo	Tipo	Cbm	#	Total Cbm
Tanque de Líquidos Calientes	Tanque (R-101)	<i>Vertical Vessel Hot Water</i>	\$ 18.591,21	1	\$ 18.591,21
	Calentador (R-101)	<i>Heater</i>	\$ 61.022,07	1	\$ 61.022,07
	Agitador (R-101)	<i>Impeller</i>	\$ 6.050,21	1	\$ 6.050,21
Tanque de Maceración	Tanque (R-102)	<i>Vertical Vessel</i>	\$ 22.011,91	1	\$ 22.011,91
	Agitador (R-102)	<i>Impeller</i>	\$ 6.050,21	1	\$ 6.050,21
Tanque de Cocción	Tanque (R-103)	<i>Vertical Vessel Hot Water</i>	\$ 21.765,77	1	\$ 21.765,77
	Calentador (R-103)	<i>Heater</i>	\$ 61.022,07	1	\$ 61.022,07
	Agitador (R-103)	<i>Impeller</i>	\$ 6.050,21	1	\$ 6.050,21
W-101	Intercambiador (W-101)	<i>Double Pipe</i>	\$ 20.834,17	1	\$ 20.834,17
Fermentador	Fermentador (C-101)	<i>Fermenter</i>	\$ 70.485,00	14	\$ 986.790,04
Tanque de Almacenamiento	Tanque (B-101)	<i>Vertical Vessel</i>	\$ 18.591,21	2	\$ 37.182,42
	Bomba (P-101)	<i>Centrifugal</i>	\$ 12.238,71	2	\$ 24.477,41
	Bomba (P-102)	<i>Centrifugal</i>	\$ 12.238,71	2	\$ 24.477,41
Bombas	Bomba (P-103)	<i>Centrifugal</i>	\$ 12.238,71	2	\$ 24.477,41
	Bomba (P-104)	<i>Centrifugal</i>	\$ 12.238,71	2	\$ 24.477,41
	Bomba (P-105)	<i>Centrifugal</i>	\$ 12.238,71	2	\$ 24.477,41

La suma de los costos de módulo desnudo de estos equipos es de \$1'369,757.34 (dólares). Este valor es muy superior a los obtenidos mediante cotizaciones de cervecerías con la misma capacidad debido a que las dimensiones de los equipos estaban en algunos casos en el límite inferior permitido para estas ecuaciones y en otros se salían incluso de dichos límites. Debido a esto se optó por consultar los precios con una empresa especializada en la venta de equipos para la producción de cerveza.

Los costos de los equipos fueron consultados con la empresa TECHIMPEX la cual produce y comercializa equipos para la producción de cerveza bajo la marca BLONDER BEER. En la Tabla 21 se muestran los costos de los equipos consultados en pesos colombianos.

Tabla 21. Costo de los equipos en pesos

EQUIPO	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Molino	1	\$ 5.886.891	\$ 5.886.891
Tanque de maceración	1	\$ 26.575.107	\$ 26.575.107
Tanque de cocción	1	\$ 26.575.107	\$ 26.575.107
Tanque de líquidos calientes	1	\$ 13.455.750	\$ 13.455.750
Set de Bombas e intercambiador de calor	1	\$ 19.847.232	\$ 19.847.232
Panel de control de producción	1	\$ 15.810.507	\$ 15.810.507
Fermentador	14	\$ 21.831.955	\$ 305.647.372
Panel de control de fermentador	14	\$ 1.211.018	\$ 16.954.246
Tanque de almacenamiento	2	\$ 17.290.639	\$ 34.581.279
Panel de control de tanque de almacenamiento	2	\$ 672.788	\$ 1.345.575
Estación de limpieza y desinfección	1	\$ 2.691.150	\$ 2.691.150
Unidad de filtración	1	\$ 9.923.616	\$ 9.923.616
Unidad de llenado de barriles	1	\$ 3.700.331	\$ 3.700.331
Sistema de enfriamiento	1	\$ 60.887.271	\$ 60.887.271
Instalación de la cervecería	1	\$ 15.137.719	\$ 15.137.719
Entrenamiento	1	\$ 10.091.813	\$ 10.091.813
TOTAL			\$ 569.110.967

Adicionalmente a estos equipos se requiere una embotelladora y el equipo de sublimación.

El precio de la embotelladora se consultó con la empresa Cerveza Artesana Homebrew S. L. y es de \$7'552,039 (Pesos colombianos). Este equipo tiene una capacidad de 530 litros por hora, la cual se ajusta a nuestros requerimientos. La potencia del equipo es de 0.37 Kw.

El precio del equipo de sublimación se consultó con varias empresas y es aproximadamente de \$500'000,000 (Pesos colombianos). Este equipo tiene una capacidad de 600 Kg por batch, la cual se ajusta a los requerimientos del proceso. Su potencia es de 147 Kw. Sus dimensiones son de 6.8 metros de largo, 2 metros de ancho y 3.8 metros de altura.

De acuerdo a esto el costo total de los equipos es de \$1,076'663,006.

7.6.7.2 Costos operativos.

Los costos operativos contemplados en nuestro proceso son el pago al personal, los costos de materias primas y los costos de servicios.

Para la operación de la planta se requieren dos operarios y un administrador. Los operarios tendrán un salario de \$700,000 y el administrador de \$1'500,000. El valor de las prestaciones se muestra en la Tabla 22 de acuerdo a la información obtenida del Ministerio de trabajo (MINTRABAJO, 2015).

Tabla 22. Costo mensual de la mano de obra

	Operario	Administrador
Salario	\$ 700.000,00	\$ 1.500.000,00
Transporte	\$ 74.000,00	\$ -
Cesantías	\$ 64.500,00	\$ 125.000,00
Primas	\$ 64.500,00	\$ 125.000,00
Intereses	\$ 7.740,00	\$ 15.000,00
Vacaciones	\$ 29.167,00	\$ 62.500,00
Pensiones (AFP)	\$ 84.000,00	\$ 180.000,00
Salud (EPS)	\$ 59.500,00	\$ 127.500,00
Riesgos Laborales (ARL)	\$ 3.654,00	\$ 7.830,00
Parafiscales	\$ 63.000,00	\$ 135.000,00
Total	\$ 1.150.061,00	\$ 2.277.830,00

De acuerdo a la información presentada en la Tabla 22 el costo total de mano de obra para el proceso sería de \$4'577,952 mensuales o \$54'935,424 anuales.

Para calcular los costos de materias primas se debe tener en cuenta que se producirán 4 m³ de cada una de las 3 recetas (IPA, Porter y Hefeweizen) cada mes, de las cuales 2 m³ serán con alcohol y 2 m³ serán sin alcohol. Para cumplir esta capacidad es necesario producir 8 batches de cada receta al mes, para un total de 24 batches por mes. Los requerimientos de materias primas no varían para una misma receta con o sin alcohol. En la Tabla 23 se muestran los costos de materias primas por kilogramo, los costos de materias primas para cada receta por mes (basados en la información proporcionada en el balance) de masa y los costos totales de materias primas por mes.

Tabla 23. Costo de materias primas mensual

	\$/Kg	IPA (\$/mes)	Porter (\$/mes)	Hefeweizen (\$/mes)	Total(\$)
Malta	6.000	7.037.280	6.962.640	7.766.880	21.766.800
Lúpulo	250.000	6.076.000	2.766.000	1.054.000	9.896.000
Levadura	1.363.636	3.169.090	3.169.090	3.169.090	9.507.270
Agua	1.525	14.579	14.152	14.457	43.188
Total	-	16.293.899	12.908.832	12.001.377	41.213.258

De acuerdo a la información presentada en la Tabla 23 el costo anual de materias primas es de \$494'559,096.

Toda la cerveza producida será embotellada en unidades de 0.33 litros las cuales se consiguen en cajas de 24 unidades a un precio de \$16,800. De cada una de las 6 recetas se producen mensualmente 6,000 unidades las cuales requieren de 250 cajas de botellas para ser envasadas. El número total de cajas de botellas que se requieren mensualmente es de 1,500 cajas las cuales tienen un costo de \$25'200,000.

El consumo de energía eléctrica de la planta es de 67.07 Kwh en cada batch. Al sumar el consumo de energía eléctrica de la embotelladora (0.37 Kwh) y el del equipo de sublimación (3,454.5 Kwh) obtenemos el consumo de energía eléctrica total de la planta (3,521.94 Kwh por batch). Mensualmente la planta consume 84,526.56 Kwh de energía eléctrica.

Para la limpieza de los equipos se requieren 1,000 litros de agua por batch, lo cual equivale a 24,000 litros de agua al mes.

La energía requerida por los calentadores del tanque de líquidos calientes y el tanque de cocción es de 273.56 Kwh por batch, lo cual equivale a 26.18 Nm³ de gas natural por batch. El consumo mensual de gas natural es de 628.32 Nm³.

En la Tabla 24 se muestra el costo unitario de estos servicios, el consumo mensual de cada uno y el costo mensual de los mismos.

Tabla 24. Costo y consumo de los servicios mensuales

Servicios	Costo Unitario	Consumo	Costo Total
Energía eléctrica	500.75 \$/Kwh	84526.56 Kwh	\$ 42'326,675
Acueducto	1575.93 \$/m3	24 m3	\$ 37,822
Alcantarillado	2379.32 \$/m3	24 m3	\$ 57,104
Gas Natural	1142.11 \$/Nm3	628.32 Nm3	\$ 717,611

De acuerdo a la información presentada en la Tabla 24 el costo mensual de los servicios es de \$43'139,211.

El total de los costos mensuales de operación del proceso es de \$114'130,421 el cual equivale a \$3,170 por botella de cerveza

7.6.7.3 Otros gastos

- **Permisos y registros.**

En la Tabla 25 se muestran los costos de los permisos y registros sanitarios necesarios según el decreto 1686 del 9 de agosto del 2012, el registro de la marca y el registro de la empresa.

Tabla 25. Costos de permisos y registros sanitarios

Trámite	Costo	Vigencia
Registro Sanitario para bebidas alcohólicas fabricadas, hidratadas o envasadas a nivel nacional (INVIMA., 2015a).	2'835,140	10 años.
Certificación para establecimiento procesador de alimentos y bebidas alcohólicas en condiciones sanitarias y Buenas Prácticas de Manufactura (INVIMA, 2015b).	10'848,785	4 años.
Registro de marca (Superintendencia de Industria y Comercio, 2015).	327,750	10 años.
Matrícula mercantil (Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, 2015).	1'291,000	1 año.

El costo total de los permisos y registros es de \$15'302,627 y los costos requeridos para renovar dichos permisos y registros serán diferidos al número de años de vigencia correspondiente.

- **Arriendo.**

De acuerdo a la información de la planta obtenida en la cotización de la empresa TECHIMPEX y las dimensiones de la embotelladora y el sublimador se estima que el área necesaria para la planta es de 250 m². El costo del arriendo para dicha área es aproximadamente de \$5'000,000 mensuales (Bodegas y Locales, 2014).

De acuerdo a esto el valor considerado como “otros costos” anual es de \$64'319,485 en el cual se incluye el costo de arriendo y los costos de renovación de los permisos y registros.

7.6.7.4 Determinación del precio de venta del producto. El precio de venta de cada botella de cerveza se determinó basados en el costo de producción de cada botella de cerveza (\$3,170) y definiendo un margen de utilidad del 50%. De acuerdo a esto el precio de venta de cada botella de cerveza es de \$4,755.

7.6.7.5 Flujo de caja y cálculo de VPN y TIR. El flujo de caja para el proyecto se calculó a 5 años teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- El número de unidades vendidas cada año será de 432,000 botellas de 330 ml las cuales tendrán un precio de venta unitario de \$4,800. El precio de venta unitario aumentará año a año de acuerdo al aumento en los costos debido a la inflación.
- El costo de mano de obra tendrá un aumento del 4.43% anual de acuerdo al promedio de los incrementos al salario mínimo en Colombia desde el 2010 hasta el 2015 (Banco de la República de Colombia, 2015).
- Todos los costos diferentes a el de mano de obra tendrán un incremento anual de 3.28% de acuerdo al promedio del IPC en entre los años 2010 y 2015 (DANE, 2015).
- Debe hacerse una inversión inicial correspondiente a los costos de los equipos, los permisos, los registros y el arriendo por un año del local en el que se instalará la planta. Dicha inversión inicial será de \$1,151'965,681.
- Los equipos fueron depreciados a 10 años.
- Se consideró un impuesto sobre la renta del 35% de las utilidades de la empresa.
- Se realizará anualmente una inversión en mercadeo, la cual incrementará un 3.28% cada año al igual que los costos.

En la Tabla 26 se muestra el flujo de caja para el proyecto.

Tabla 26. Flujo de caja del proyecto

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos	\$ -	\$ 2.160.000.000	\$ 2.230.848.000	\$ 2.304.019.814	\$ 2.379.591.664	\$ 2.457.642.271
Salario	\$ -	-\$ 54.935.424	-\$ 57.369.063	-\$ 59.910.513	-\$ 62.564.549	-\$ 65.336.158
Materias Primas	\$ -	-\$ 796.959.096	-\$ 823.099.354	-\$ 850.097.013	-\$ 877.980.195	-\$ 906.777.945
Servicios Públicos	\$ -	-\$ 517.670.544	-\$ 534.650.138	-\$ 552.186.662	-\$ 570.298.385	-\$ 589.004.172
Otros Egresos	\$ -	-\$ 64.319.485	-\$ 66.429.164	-\$ 68.608.041	-\$ 70.858.384	-\$ 73.182.539
Total Egresos	\$ -	-\$ 1.433.884.549	-\$ 1.481.547.719	-\$ 1.530.802.229	-\$ 1.581.701.513	-\$ 1.634.300.815
Depreciación	\$ -	-\$ 115.196.568	-\$ 115.196.568	-\$ 115.196.568	-\$ 115.196.568	-\$ 115.196.568
Utilidades antes de impuestos (U.A.I)	\$ -	\$ 610.918.883	\$ 634.103.712	\$ 658.021.017	\$ 682.693.583	\$ 708.144.888
Impuestos	\$ -	\$ 213.821.609	\$ 221.936.299	\$ 230.307.356	\$ 238.942.754	\$ 247.850.711
Utilidades después de impuestos (U.D.I)	\$ -	\$ 397.097.274	\$ 412.167.413	\$ 427.713.661	\$ 443.750.829	\$ 460.294.177
Depreciación	\$ -	-\$ 115.196.568	-\$ 115.196.568	-\$ 115.196.568	-\$ 115.196.568	-\$ 115.196.568
Inversiones	-\$ 1.151.965.681	-\$ 30.000.000	-\$ 30.984.000	-\$ 32.000.275	-\$ 33.049.884	-\$ 34.133.920
Flujo Efectivo	-\$ 1.151.965.681	\$ 251.900.706	\$ 265.986.845	\$ 280.516.818	\$ 295.504.377	\$ 310.963.689
Tasa interna de retorno (TIR)	7%					
Valor presente neto (VPN)	\$ 1.054.498.368					

La tasa interna de retorno (TIR) calculada fue de 7% y el valor presente neto (VPN) calculado con una tasa del 10% es menor que la inversión inicial, lo cual nos muestra que el proyecto no es rentable bajo las consideraciones hechas.

En la Tabla 27 se muestra el cambio en la TIR al variar el precio de venta de cada botella de cerveza entre \$5,000 y \$6,000.

Tabla 27. TIR vs Precio de venta(Sin IVA)

Precio de Venta	TIR
5000	7%
5200	14%
5400	21%
5600	28%
5800	34%
6000	40%

A pesar de que el precio de venta ya es alto en comparación a productos similares en el mercado, observamos que un cambio pequeño en el precio de venta del producto puede cambiar significativamente la viabilidad económica del proyecto.

Se realizó además el flujo de caja del proyecto excluyendo el proceso de desalcoholización. Al excluir esta parte del proceso se reducen significativamente los costos de servicios (de \$517'670,543 anuales a \$19'477,512 anuales) y el capital inicial (de \$1,151'965,681 a \$651'965,681). Esta disminución en los costos permite tener un precio de venta mucho más competitivo y hacer una mayor inversión en mercadeo.

En la Tabla 28 se presenta el flujo de caja del proyecto excluyendo la desalcoholización de la cerveza. Se fijó un precio de venta de \$3,500.

Tabla 28. Flujo de caja del proyecto excluyendo la desalcoholización

	Año 0		Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Año 5	
Ingresos	\$	-	\$	1.512.000.000	\$	1.561.593.600	\$	1.612.813.870	\$	1.665.714.165	\$	1.720.349.590
Salario	\$	-	-\$	54.935.424	-\$	57.369.063	-\$	59.910.513	-\$	62.564.549	-\$	65.336.158
Materias Primas	\$	-	-\$	787.503.516	-\$	813.333.631	-\$	840.010.974	-\$	867.563.334	-\$	896.019.412
Servicios Públicos	\$	-	-\$	19.477.512	-\$	20.116.374	-\$	20.776.191	-\$	21.457.651	-\$	22.161.461
Otros Egresos	\$	-	-\$	64.319.485	-\$	66.429.164	-\$	68.608.041	-\$	70.858.384	-\$	73.182.539
Total Egresos	\$	-	-\$	926.235.937	-\$	957.248.233	-\$	989.305.719	-\$	1.022.443.918	-\$	1.056.699.571
Depreciación	\$	-	-\$	65.196.568	-\$	65.196.568	-\$	65.196.568	-\$	65.196.568	-\$	65.196.568
Utilidades antes de impuestos (U.A.I)	\$	-	\$	520.567.495	\$	539.148.799	\$	558.311.583	\$	578.073.679	\$	598.453.451
Impuestos	\$	-	\$	182.198.623	\$	188.702.080	\$	195.409.054	\$	202.325.788	\$	209.458.708
Utilidades después de impuestos (U.D.I)	\$	-	\$	338.368.872	\$	350.446.719	\$	362.902.529	\$	375.747.891	\$	388.994.743
Depreciación	\$	-	-\$	65.196.568	-\$	65.196.568	-\$	65.196.568	-\$	65.196.568	-\$	65.196.568
Inversiones	-\$	651.965.681	-\$	75.600.000	-\$	78.079.680	-\$	80.640.694	-\$	83.285.708	-\$	86.017.479
Flujo Efectivo	-\$	651.965.681	\$	197.572.304	\$	207.170.471	\$	217.065.267	\$	227.265.615	\$	237.780.696
Tasa interna de retorno (TIR)		19%										
Valor presente neto (VPN)	\$			816.779.376								

La TIR calculada para este proyecto es del 19% y el VPN es de \$816'779,376 con una inversión inicial de \$651'965,681 lo cual muestra que el proyecto es rentable bajo las consideraciones hechas. La inversión que se hará en mercadeo corresponde a un 5% del total de las ventas.

En la Tabla 29 se muestra la variación en la TIR al variar el precio de venta de cada botella de cerveza entre \$3,500 y \$4,000.

Tabla 29. TIR vs Precio de venta de cerveza con alcohol

Precio de Venta	TIR
3500	19%
3600	25%
3700	30%
3800	35%
3900	40%
4000	45%

8 CONCLUSIONES

A partir de recetas previamente diseñadas se produjeron tres batches de cerveza artesanal correspondientes a estilos de cerveza reconocidos: india pale ale, hefeweizen y porter. Estas cervezas fueron producidas en batches de 20 litros lo cual permitió contar con una cantidad suficiente para llevar a cabo pruebas desalcoholización y un panel de consumidores.

Se desalcoholizaron 3 litros de cada receta mediante un proceso de sublimación bajo vacío. Este proceso fue seleccionado debido a su capacidad para retirar casi en su totalidad la humedad presente en una muestra sin afectar significativamente su sabor.

Mediante espectrometría infrarroja y cromatografía de gases se evaluó la concentración de etanol tanto en las muestras con alcohol como en las muestras desalcoholizadas. Los resultados obtenidos en la espectrometría infrarroja muestran una disminución en la concentración de etanol del 82.12% para la india pale ale, del 70.89% para la hefeweizen y del 60.01% para la porter. Por otro lado los resultados obtenidos por cromatografía de gases muestran mayores porcentajes de disminución: 98.69% para la india pale ale, 98.12% para la hefeweizen y 99.43% para la porter. Estos resultados muestran que mediante el proceso de sublimación bajo vacío se puede remover efectivamente el etanol presente en la cerveza.

Se llevó a cabo un panel de consumidores con una escala hedónica verbal de 9 puntos con el fin de determinar el grado de aceptación de cada una de las 6 variedades de cerveza producidas (3 con alcohol y 3 sin alcohol) y de evaluar que tan similar era el sabor de las cervezas sin alcohol respecto a las cervezas con alcohol. Los resultados obtenidos en el panel de consumidores mostraron un grado de aceptación mucho mayor para las cervezas con alcohol (8.03, 7.03 y 6.5 para la hefeweizen, la india pale ale y la porter respectivamente) que para las cervezas sin alcohol (3.97, 3.33 y 3.97 conservando el mismo orden). Además, de las 30 personas que participaron en el panel de consumidores, el número de participantes que no pudo diferenciar entre las cervezas con y sin alcohol fue de 4 para la hefeweizen, 3 para la porter y 1 para la india pale ale. Estos resultados nos muestran que el proceso de desalcoholización por sublimación bajo vacío bajo las condiciones de operación empleadas si genera daños significativos en el sabor de la cerveza.

Se diseñó conceptualmente una planta para la producción de cerveza artesanal con y sin alcohol con una capacidad de 500 litros por batch en el cual se incluyó una descripción del

proceso de elaboración de la cerveza, el dimensionamiento de los equipos, el balance de masa y los diagramas de bloques y de flujo de proceso para cada una de las 6 recetas.

Con el fin de realizar el análisis económico del proyecto se determinaron los costos de capital, costos de operación y otros costos necesarios para la producción de cerveza. A partir de estos costos se encontró que con un precio de venta de \$5,000 por botella de cerveza el proyecto tendría una TIR de 7% y un VPN de \$1,054'498,368 con una inversión inicial de \$1,151'965,681. Estos resultados muestran que el proyecto para la producción de cerveza con y sin alcohol no sería rentable debido a los grandes costos de operación y de capital que genera el proceso de desalcoholización mediante sublimación bajo vacío. Al evaluar el proyecto para la producción de cerveza únicamente alcohólica se determinó que con un precio de venta unitario mucho más competitivo (\$3,500) y con una mayor inversión en mercadeo (5% del total de las ventas) se tendría una TIR del 19% y un VPN de \$816'779,376 con una inversión inicial de \$651'965,681 lo cual nos muestra que el proyecto sería rentable bajo estas condiciones.

9 RECOMENDACIONES

Con el fin de mejorar el nivel de aceptación de la cerveza sin alcohol se propone realizar un estudio para determinar los cambios en el sabor de la cerveza sin alcohol a diferentes condiciones de operación lo cual permitiría encontrar el punto en el cual se pueda producir cerveza no alcohólica minimizando el daño en su sabor.

Al momento de reconstituir la cerveza luego de su desalcoholización se recomienda carbonatar la cerveza con un sistema de CO₂ ya que una gran cantidad del gas contenido en el agua carbonatada se pierde en el proceso de reconstitución y esto tiene un impacto negativo sobre el sabor de la cerveza.

Otra alternativa para mejorar el sabor de la cerveza sin alcohol es el de mezclarlo con una pequeña cantidad de cerveza alcohólica de manera que se siga cumpliendo con el máximo contenido de etanol permitido para cervezas no alcohólicas (2.5 % V/V) pero se puedan enmascarar los daños que causa el proceso de desalcoholización en la cerveza.

BIBLIOGRAFÍA

Arias, F. J. (02 de Febrero de 2014). Sumas y restas de la ley contra conductores ebrios. *El Colombiano*.

Banco de la República de Colombia. (8 de 10 de 2015). *Salario mínimo legal en Colombia*. <http://obiee.banrep.gov.co/analytics/saw.dll?Go&Path=/shared/Consulta+Series+Estadisticas+desde+Excel/1.+Salarios/1.1+Salario+minimo+legal+en+Colombia/1.1.1+Serie+historica&Options=rdf&NQUser=salarios&NQPassword=salarios&lang=es>

Bodegas y Locales. (8 de 10 de 2014). *Arriendo de bodegas y locales*. Obtenido de http://www.bodegasylocales.com/search/index/?searchType=1&inactive=&user=&tipo=1&rea_desde=250&ciudad=1&area_hasta=270&arrendar=1&search=Buscar#results

Brányik, T., Silva, D. P., Baszczyński, M., Lehnert, R., & e Silva, J. B. A. (2012). A review of methods of low alcohol and alcohol-free beer production. *Journal of Food Engineering*, 108(4), 493-506

Caccetta, R. A. A., Burke, V., Mori, T. A., Beilin, L. J., Puddey, I. B., & Croft, K. D. (2001). Red wine polyphenols, in the absence of alcohol, reduce lipid peroxidative stress in smoking subjects. *Free Radical Biology and Medicine*, 30(6), 636-642.

Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia. (8 de 10 de 2015). *Tarifas del Registro Mercantil*. Obtenido de Camaramedellin: <http://www.camaramedellin.com.co/site/Portals/0/Documentos/2015/Tarifas2015.pdf>

DANE. (8 de 10 de 2015). Índice de Precios al Consumidor. Obtenido de <http://www.dane.gov.co/index.php/precios-e-inflacion/indice-de-precios-al-consumidor>

Daniels, R. (2000). *Designing Great Beers*. Brewers Publications.

Franks, F. (1998). Freeze-drying of bioproducts: putting principles into practice. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 45(3), 221-229.

Ghiselli, A., Natella, F., Guidi, A., Montanari, L., Fantozzi, P., & Scaccini, C. (2000). Beer increases plasma antioxidant capacity in humans. *The Journal of nutritional biochemistry*, 11(2), 76-80.

INVIMA. (8 de 10 de 2015a). Registro Sanitario para bebidas alcohólicas fabricadas, hidratadas o envasadas a nivel nacional. Obtenido de Suit: <http://www.suit.gov.co/VisorSUIT/index.jsf?FI=1206>

INVIMA. (8 de 10 de 2015b). Certificación para establecimiento procesador de alimentos y bebidas alcohólicas en condiciones sanitarias y Buenas Prácticas de Manufactura. Obtenido de Suit: <http://www.suit.gov.co/VisorSUIT/index.jsf?FI=419>

Izquierdo, P. M. (2014). *Obtención de vino desalcoholizados*. Instituto de la Vid y el Vino de Castilla - La Mancha.

Kasper, J. C., & Friess, W. (2011). The freezing step in lyophilization: physico-chemical fundamentals, freezing methods and consequences on process performance and quality attributes of biopharmaceuticals. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 78(2), 248-263.

Miller, D. G. (1995). *Dave Miller's Homebrewing Guide: Everything You Need to Know to Make Great-tasting Beer*. Storey Publishing.

MINTRABAJO. (5 de Octubre de 2015). MINTRABAJO. Obtenido de MINTRABAJO: <http://www.mintrabajo.gov.co/calculadora-laboral.html>

Nakagawa, K. O. (2015). A mathematical model of multi-dimensional freeze-drying for food. *Journal of Food Engineering*, 55-67.

Palmer, J. J. (2006). *How to brew. EUA: Brewers Publications*.

Papazian, C. (2002). *The Home Brewer's Companion*. Quill/Harper.

Papazian, C. (2003). *The complete joy of homebrewing*. Quill.

Pérez, V. (15 de Julio de 2013). Mercado de la cerveza artesanal crece 40% al año. *La República*.

Piacentini, K. C., Savi, G. D., Olivo, G., & Scussel, V. M. (2015). Quality and occurrence of deoxynivalenol and fumonisins in craft beer. *Food Control*, 50, 925-929.

Roessler, E. B., Warren, J., & Guymon, J. F. (1948). Significance in triangular taste tests. *Journal of Food Science*, 13(6), 503-505.

Rosales, A. (28 de Septiembre de 2013). La movida de la cerveza artesanal en Colombia. *El Tiempo*.

Salamanca, S. A. (Julio de 2014). En cervezas "CERO" también suma. *Altus*.

Sánchez, D. (26 de Enero de 2015). Pequeña cervecería de Medellín pensó en los conductores. *El Tiempo*

Superintendencia de Industria y Comercio. (8 de 10 de 2015). Obtenido de <http://sipi.sic.gov.co/loader.php?lServicio=PagosSic&lTipo=pagos&lFuncion=consultaTarifas>

Turton, R., Bailie, R. C., Whiting, W. B., & Shaeiwitz, J. A. (2008). *Analysis, synthesis and design of chemical processes*. Pearson Education.

Turton, R., Bailie, R. C., Whiting, W. B., & Shaeiwitz, J. A. (2009). *Analysis, synthesis and design of chemical processes*. Pearson Education.

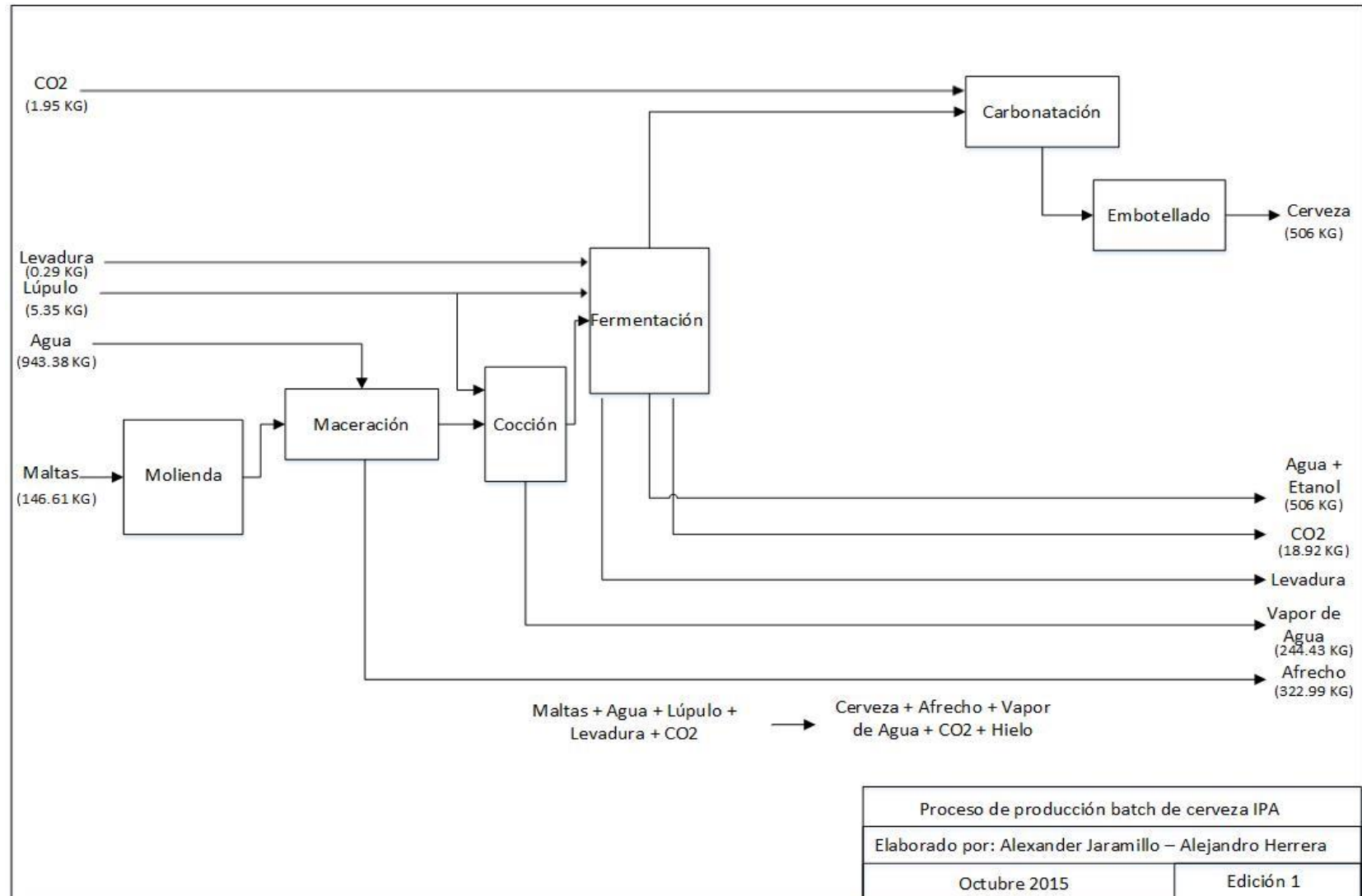
Walas, S. (1990). *Chemical Process Equipment Selection and Design*. Boston: Butterworth-Heinemann.

Wang, W. (2000). Lyophilization and development of solid protein pharmaceuticals. *International journal of pharmaceutics*, 203(1), 1-60.

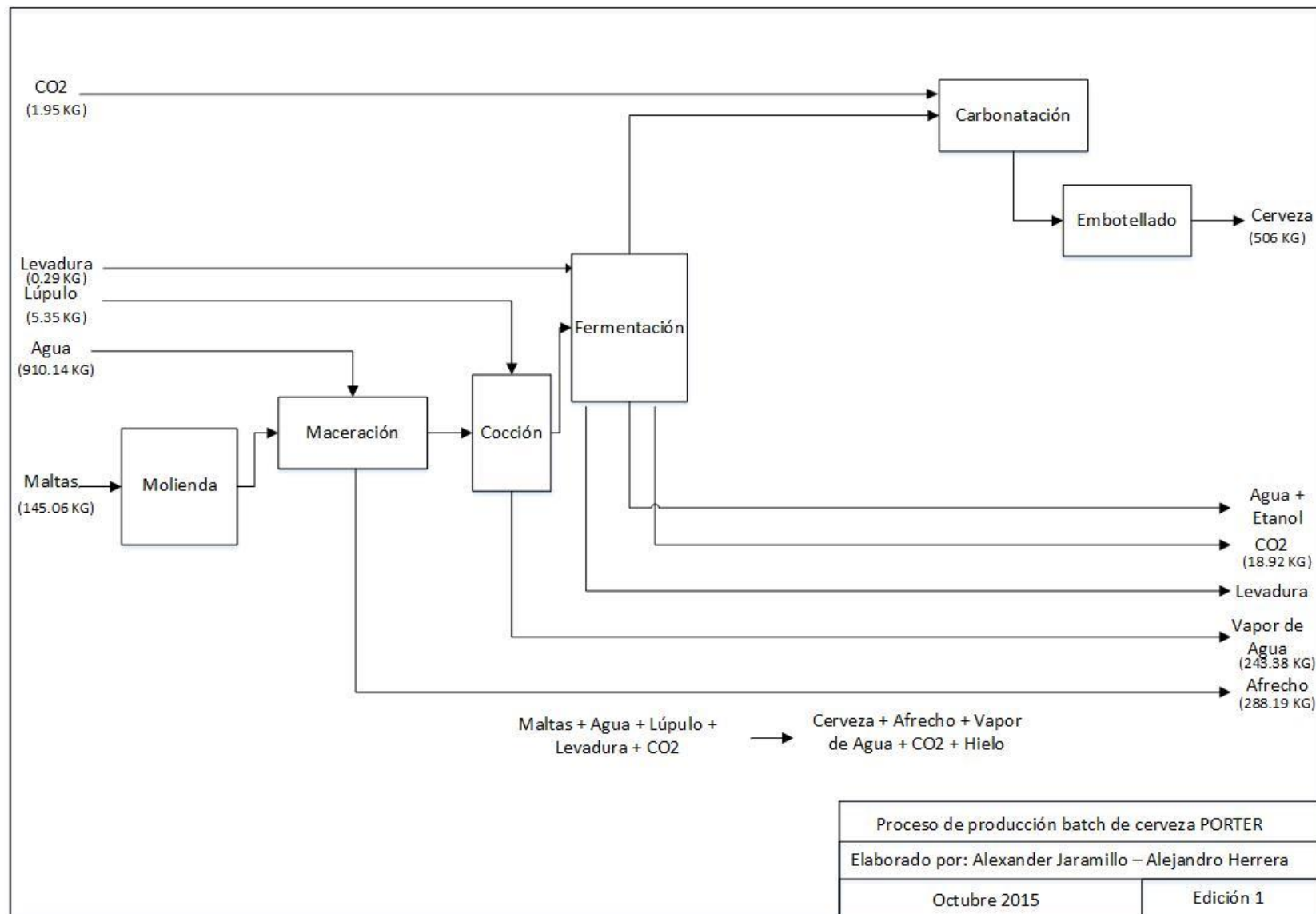
Xu, P. (2007). Beer. *Journal of Agricultural & Food Information*, 11-23.

ANEXOS

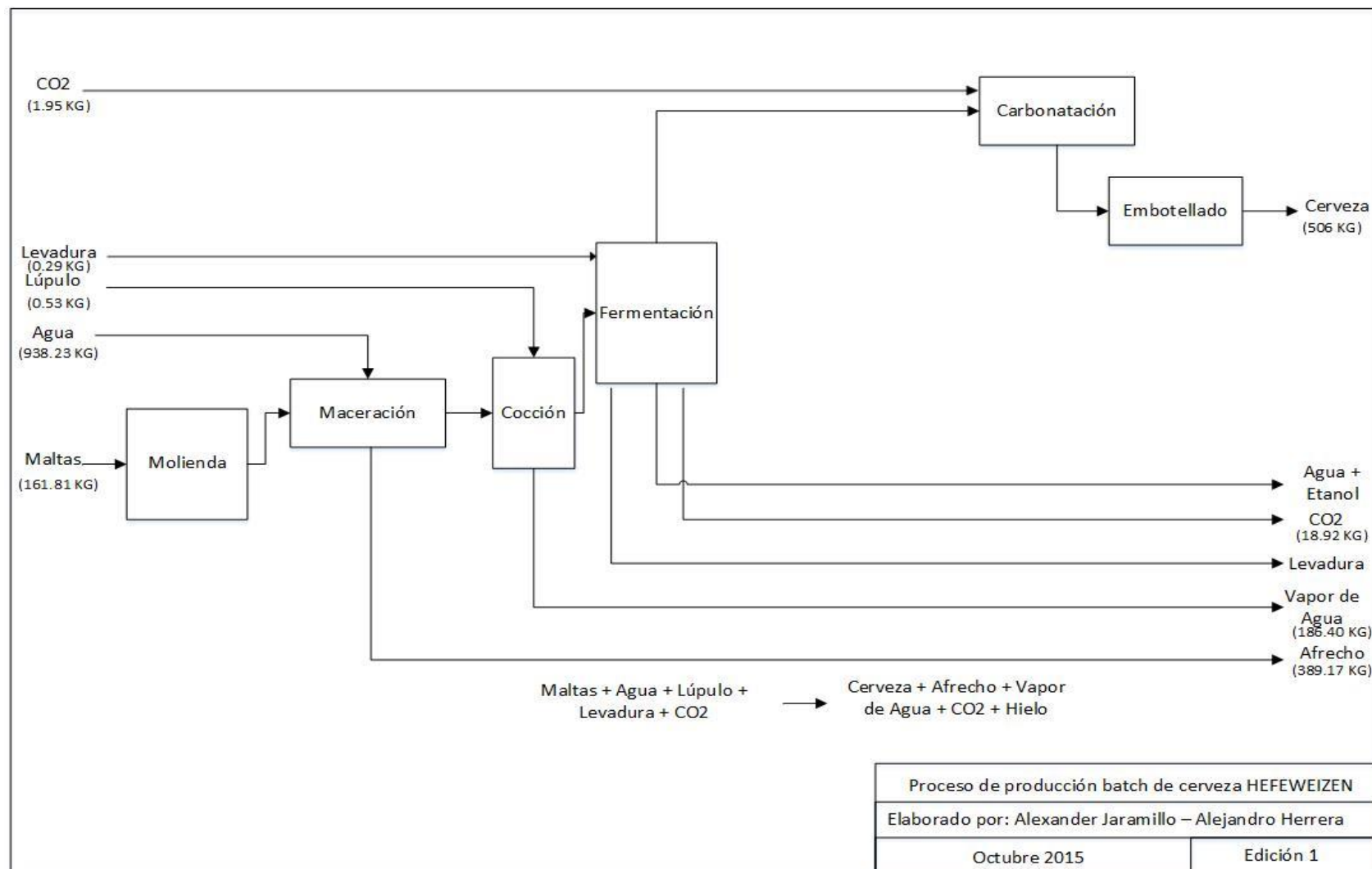
Anexo 1. Diagrama de bloques para la producción de cerveza IPA



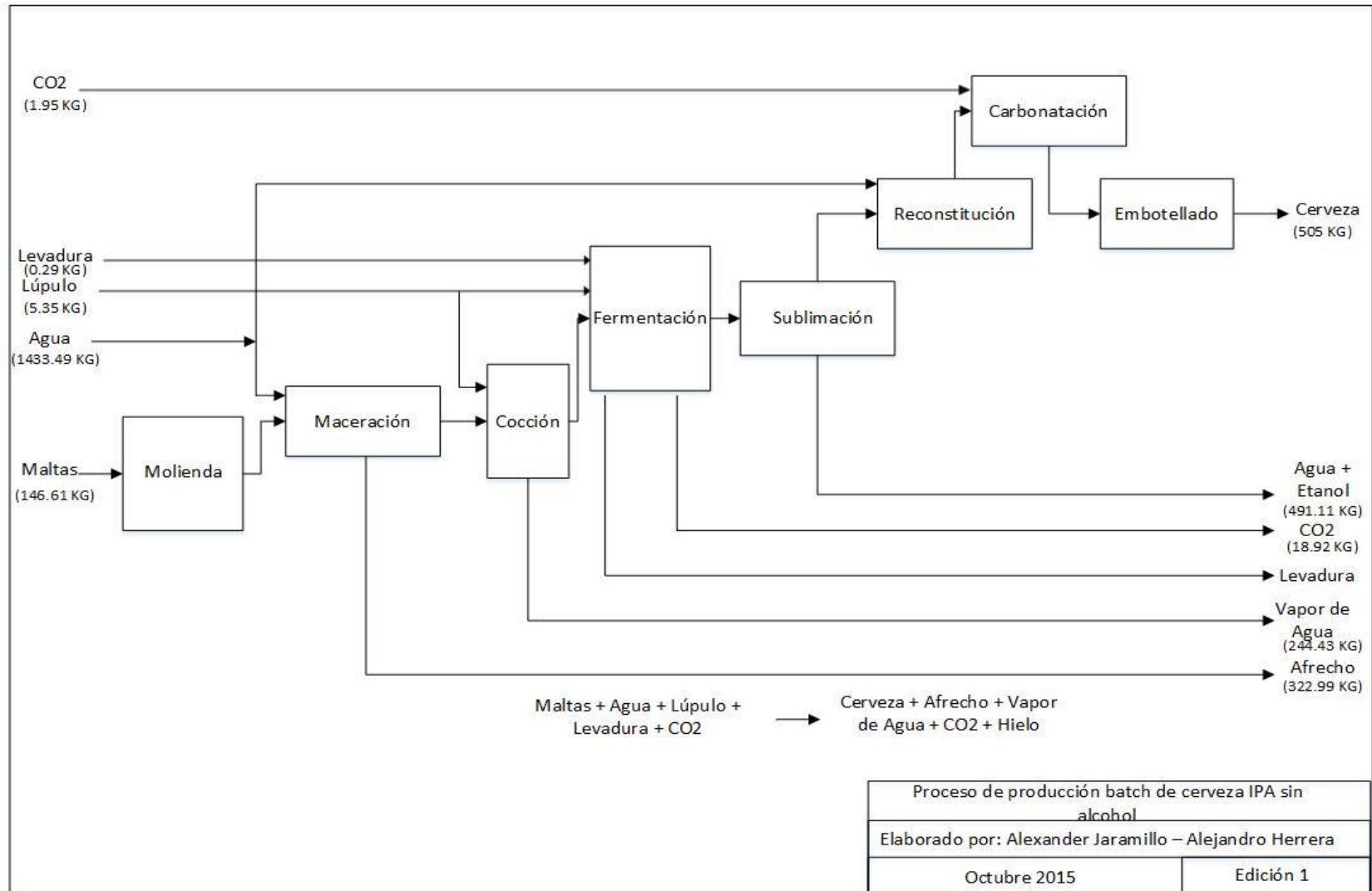
Anexo 2. Diagrama de bloques para la producción de cerveza PORTER



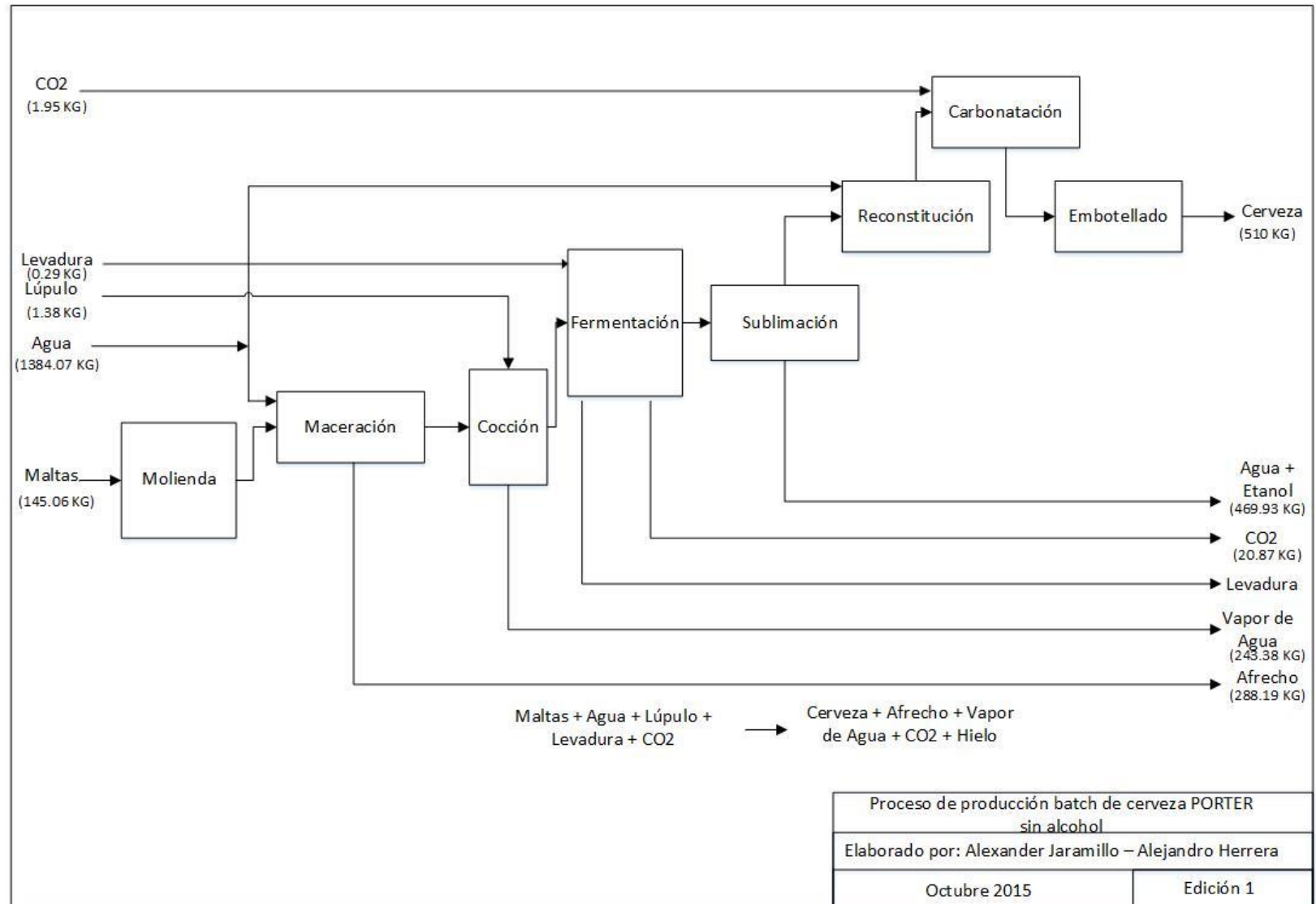
Anexo 3. Diagrama de bloques para la producción de cerveza HEFEWEIZEN



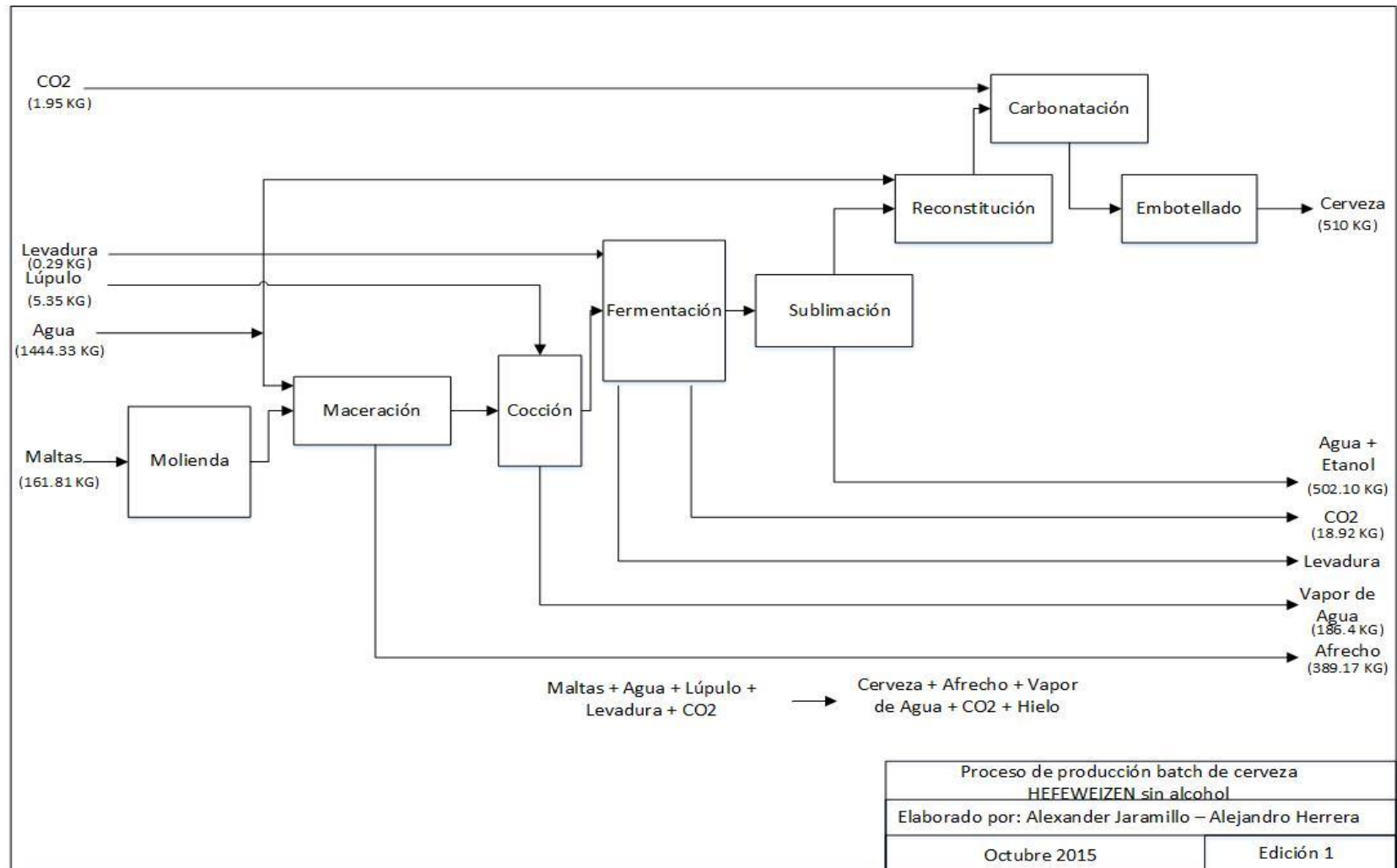
Anexo 4. Diagrama de bloques para la producción de cerveza IPA sin alcohol



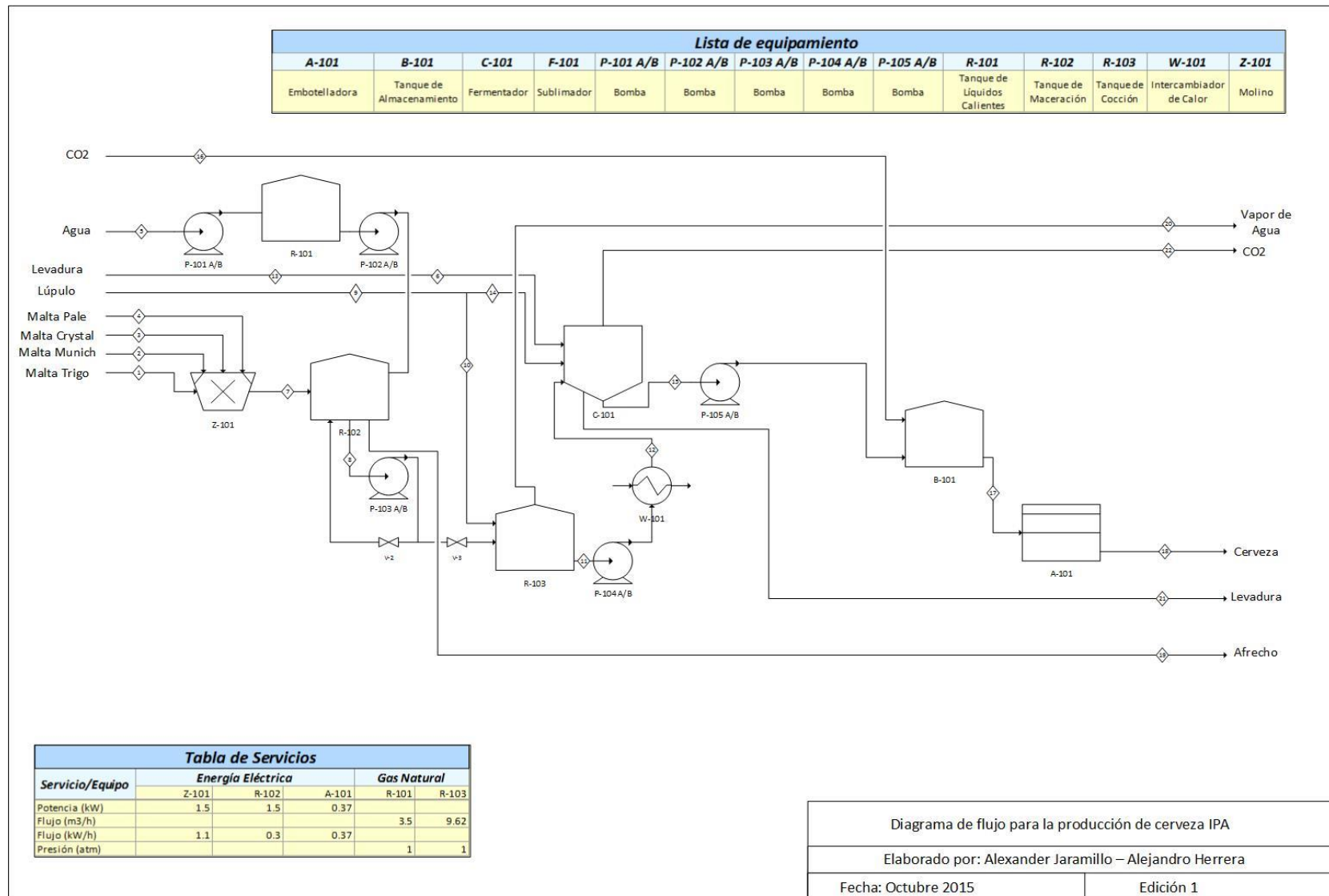
Anexo 5. Diagrama de bloques para la producción de cerveza IPA sin alcohol



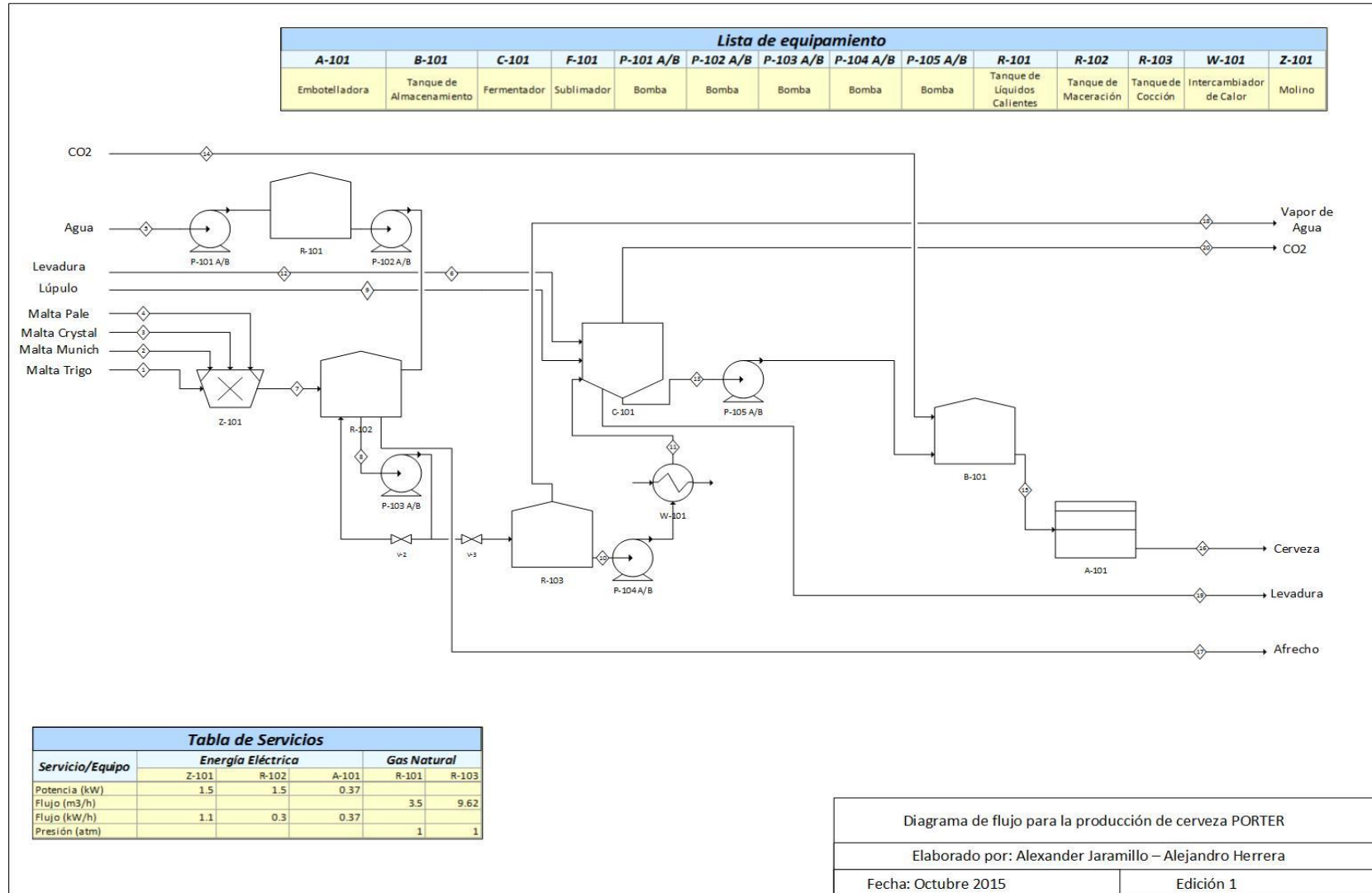
Anexo 6. Diagrama de bloques para la producción de cerveza PORTER sin alcohol



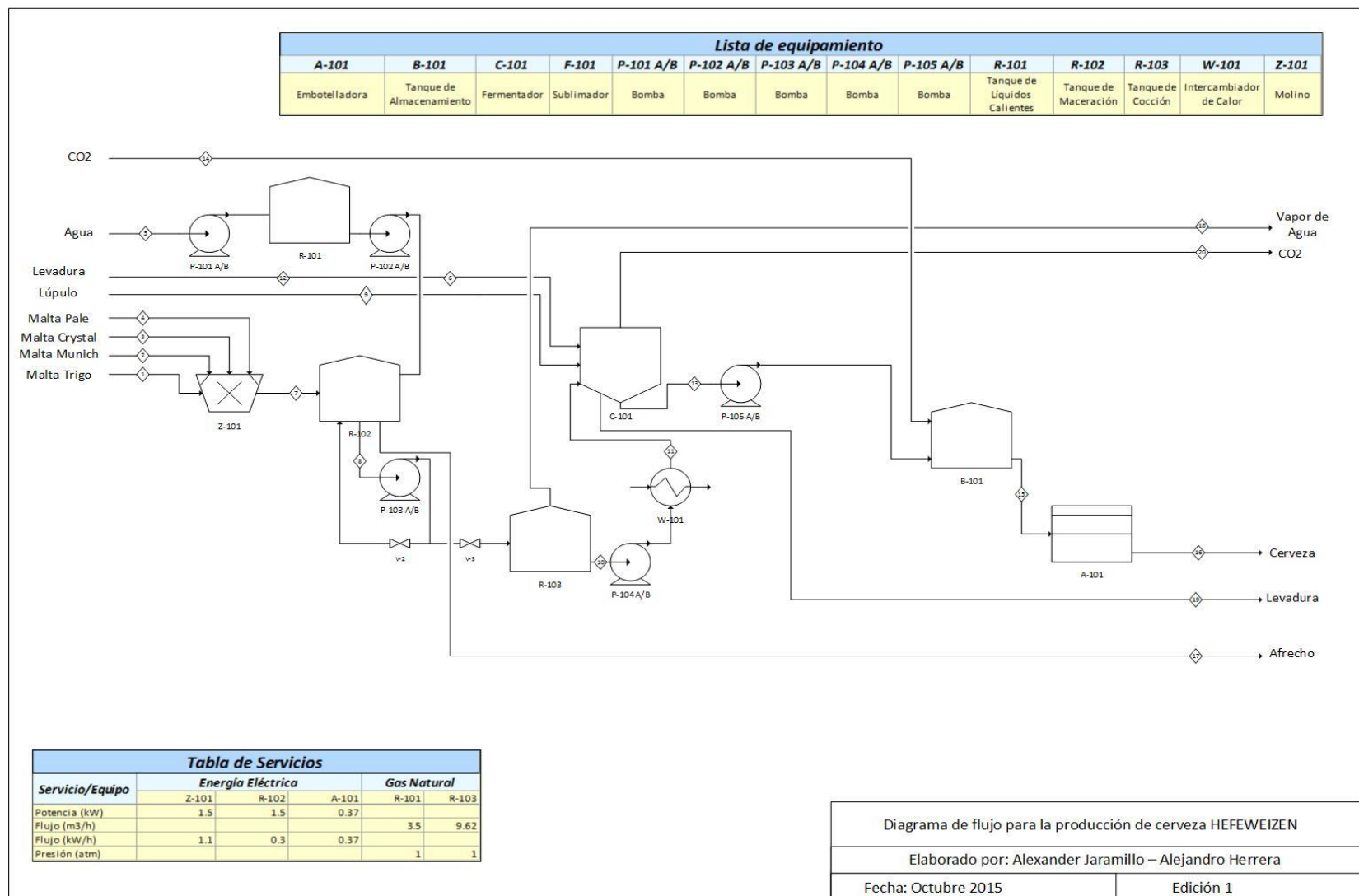
Anexo 7. Diagrama de proceso para la producción de cerveza IPA



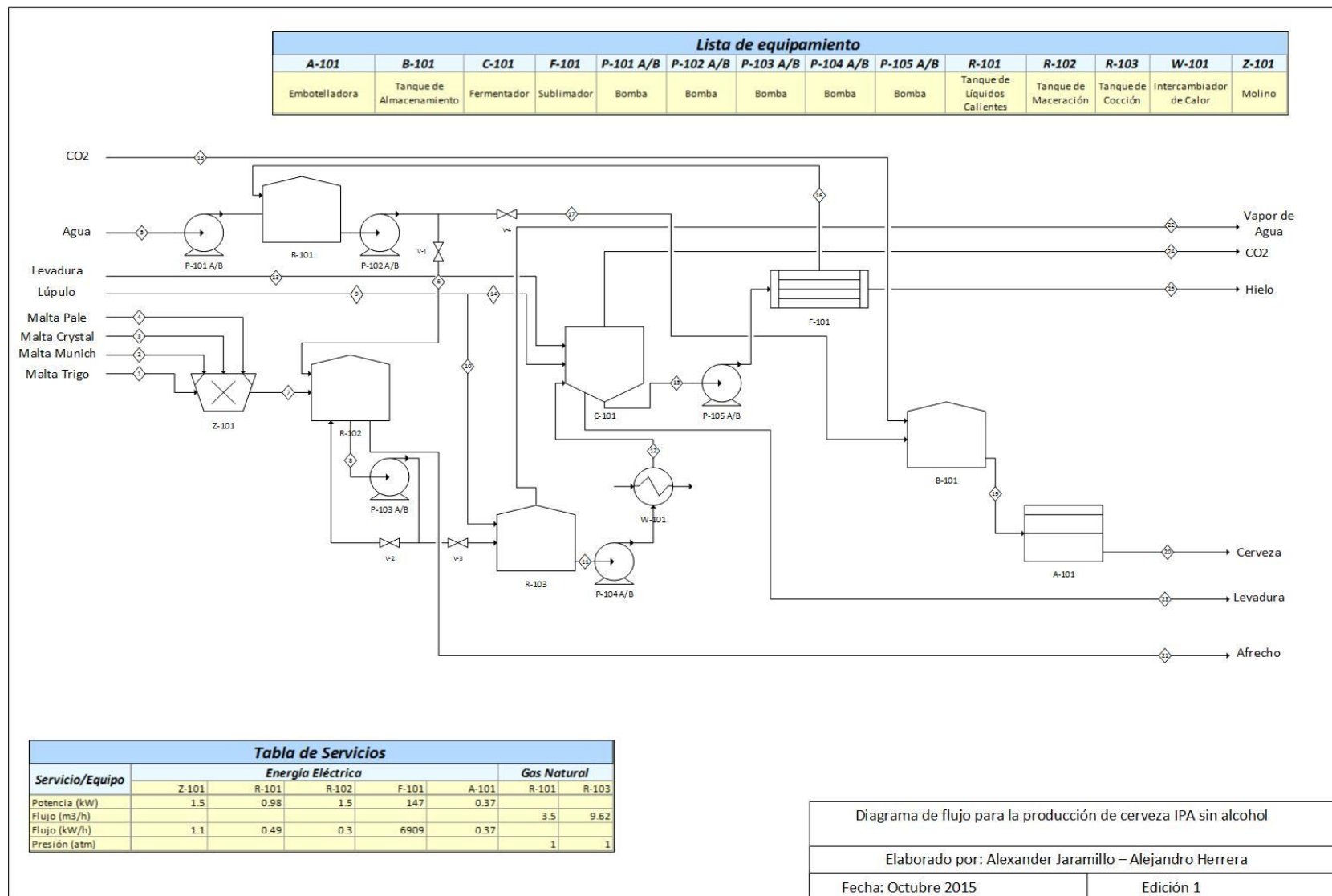
Anexo 8. Diagrama de proceso para la producción de cerveza PORTER



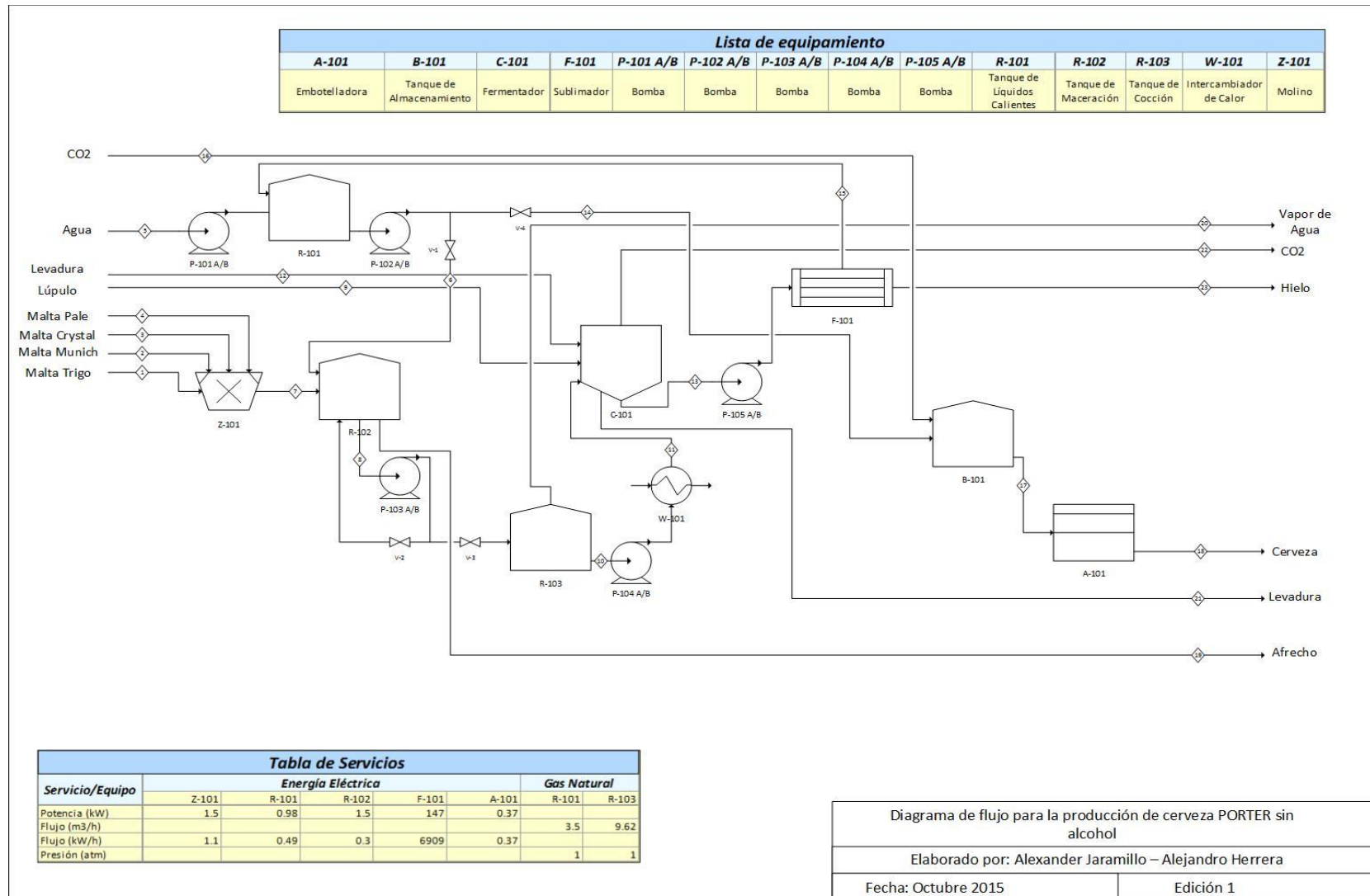
Anexo 9. Diagrama de proceso para la producción de cerveza Hefeweizen



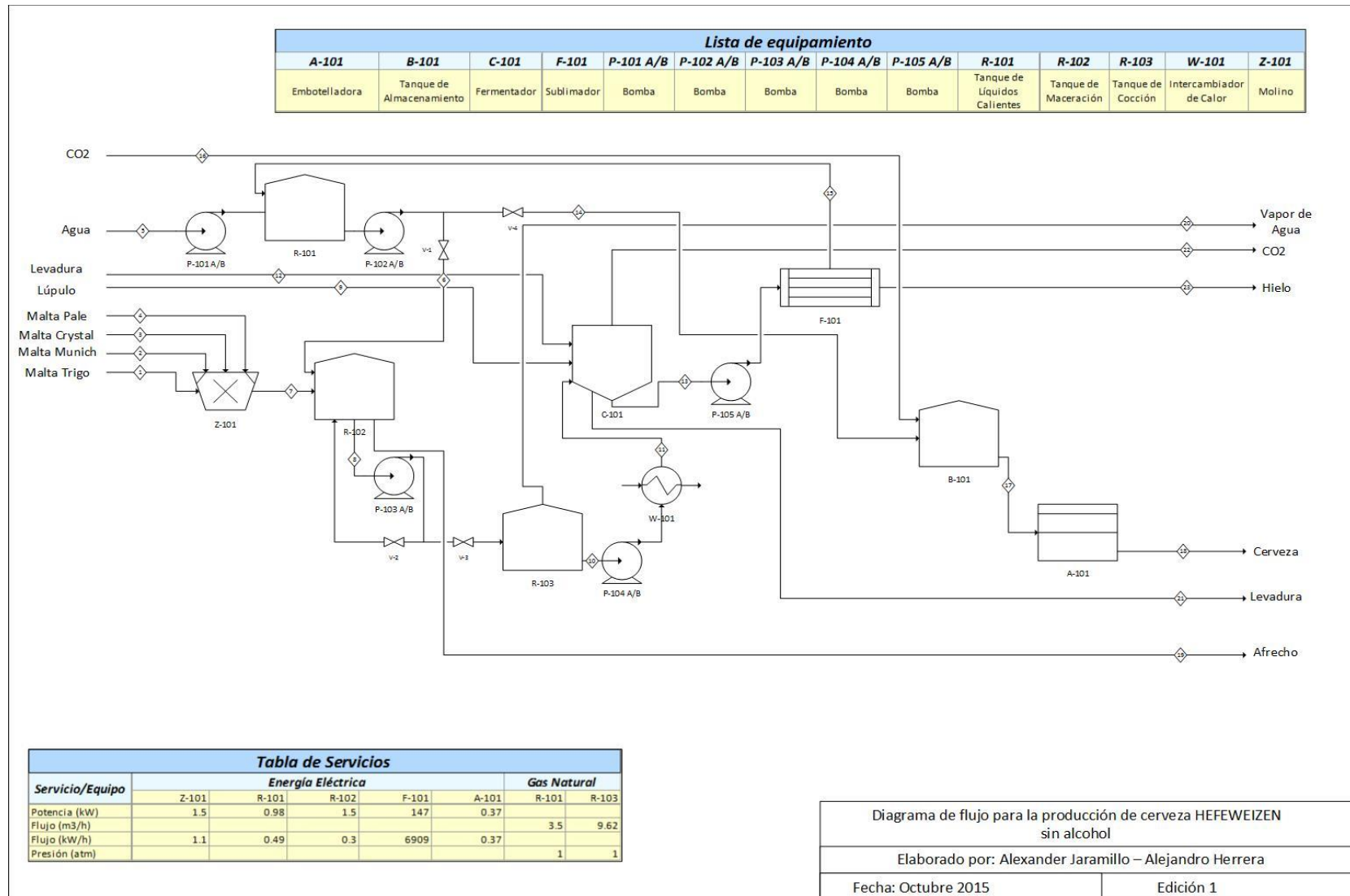
Anexo 10. Diagrama de proceso para la producción de cerveza IPA sin alcohol



Anexo 11. Diagrama de proceso para la producción de cerveza PORTER sin alcohol



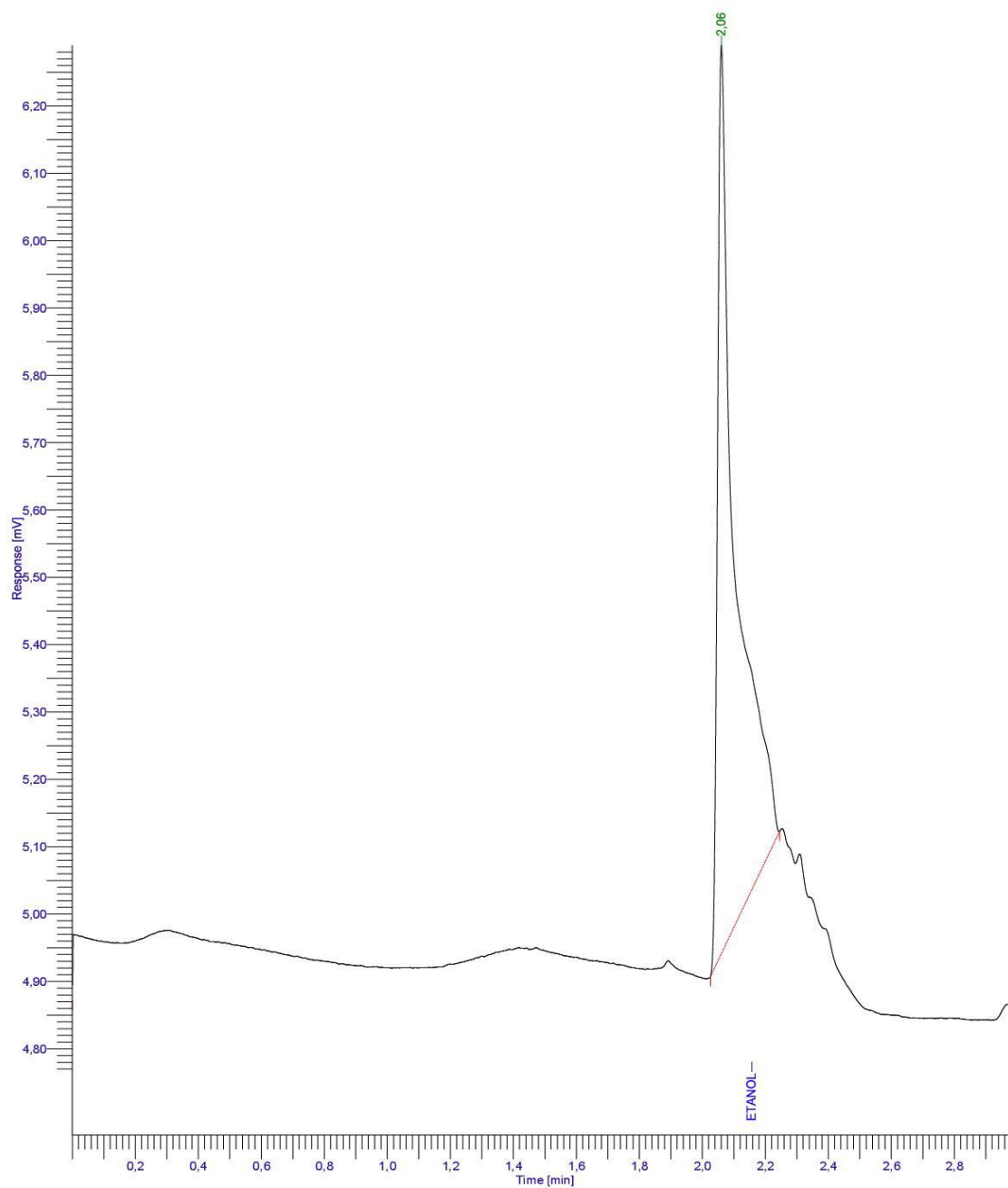
Anexo 12. Diagrama de proceso para la producción de cerveza HEFEWEIZEN sin alcohol



Anexo 13. Cromatograma de la cerveza IPA

Chromatogram

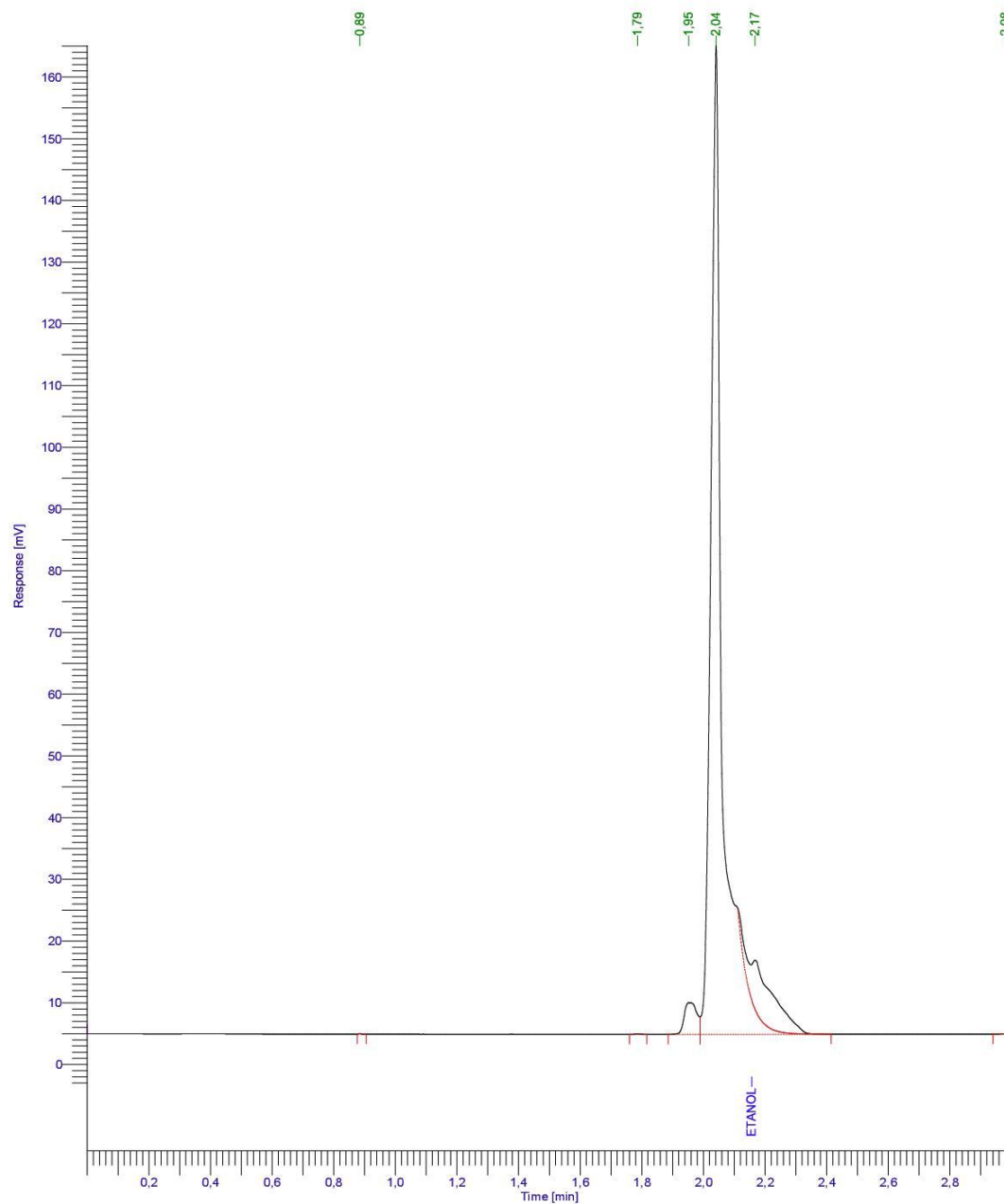
Sample Name : Sample # : Page 1 of 1
File Name : C:\PenExe\Tc\WS\Ver6.3.2\Examples\IA_001.raw
Date : 09/10/2015 10:10:16 a.m.
Method : Time of Injection: 09/10/2015 09:07:28 a.m.
Start Time : 0,00 min End Time : 3,00 min Low Point : 4,77 mV High Point : 6,29 mV
Plot Offset: 4,77 mV Plot Scale: 1,5 mV



Anexo 14. Cromatograma de la cerveza IPA sin alcohol

Chromatogram

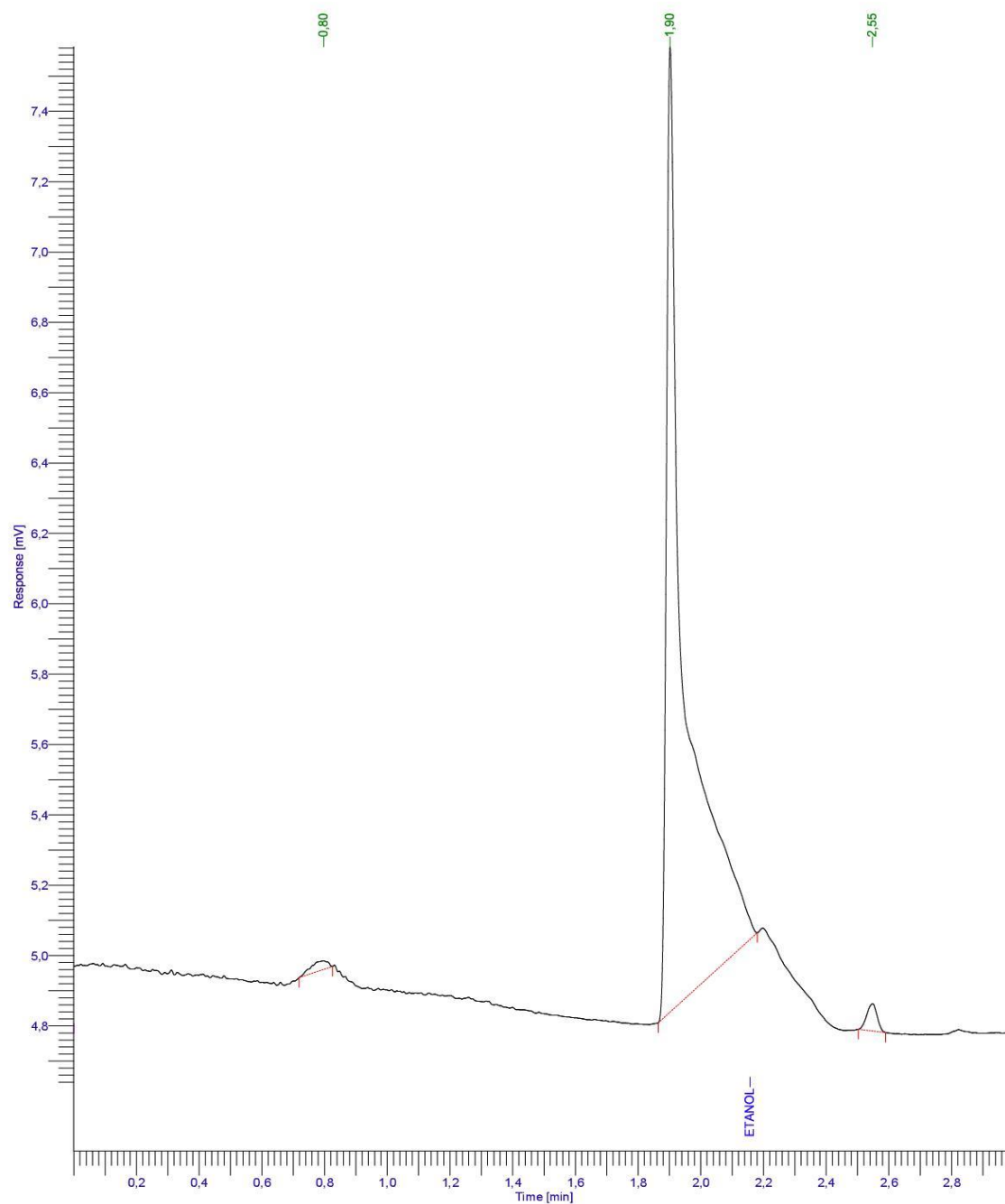
Sample Name : Sample # : Page 1 of 1
FileName : C:\PenExe\Tc\WS\Ver6.3.2\Examples\IB.raw
Date : 09/10/2015 10:12:14 a.m.
Method : Time of Injection: 09/10/2015 09:14:31 a.m.
Start Time : 0,00 min End Time : 3,00 min Low Point : -3,55 mV High Point : 165,07 mV
Plot Offset: -3,55 mV Plot Scale: 168,6 mV



Anexo 15. Cromatograma de la cerveza PORTER

Chromatogram

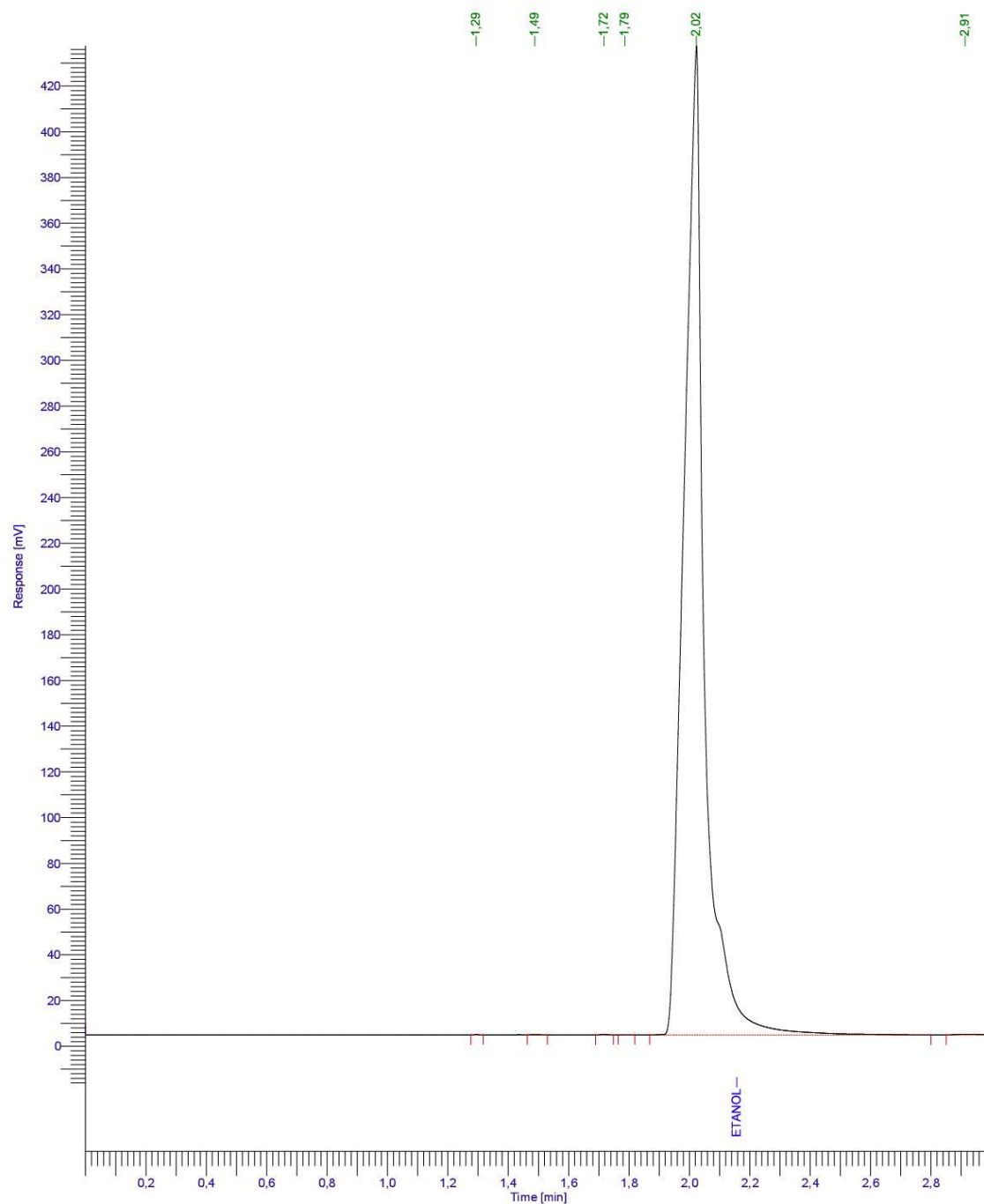
Sample Name : Sample # : Page 1 of 1
FileName : C:\PenExcel\Tc\WS\Ver6.3.2\Examples\PA.raw
Date : 09/10/2015 10:15:22 a.m.
Method : Time of Injection: 09/10/2015 09:33:35 a.m.
Start Time : 0,00 min End Time : 3,00 min Low Point : 4,63 mV High Point : 7,58 mV
Plot Offset: 4,63 mV Plot Scale: 3,0 mV



Anexo 16. Cromatograma de la cerveza PORTER sin alcohol

Chromatogram

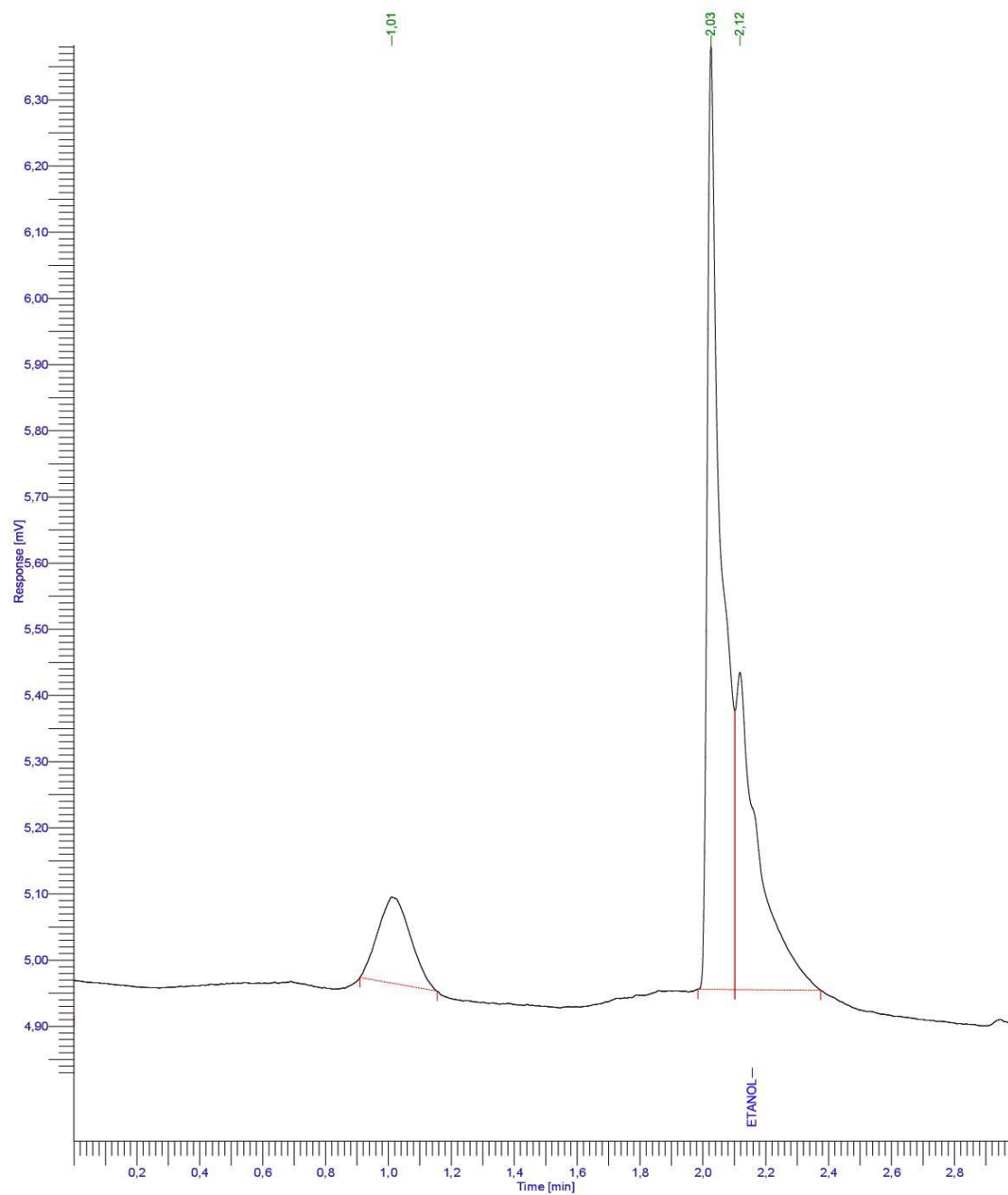
Sample Name : Sample # : Page 1 of 1
FileName : C:\PenExe\TcWS\Ver6.3.2\Examples\PB.raw
Date : 09/10/2015 10:16:03 a.m.
Method : Time of Injection: 09/10/2015 09:39:27 a.m.
Start Time : 0,00 min End Time : 3,00 min Low Point : -17,81 mV High Point : 437,53 mV
Plot Offset: -17,81 mV Plot Scale: 455,3 mV



Anexo 17. Cromatograma de la cerveza HEFEWEIZEN

Chromatogram

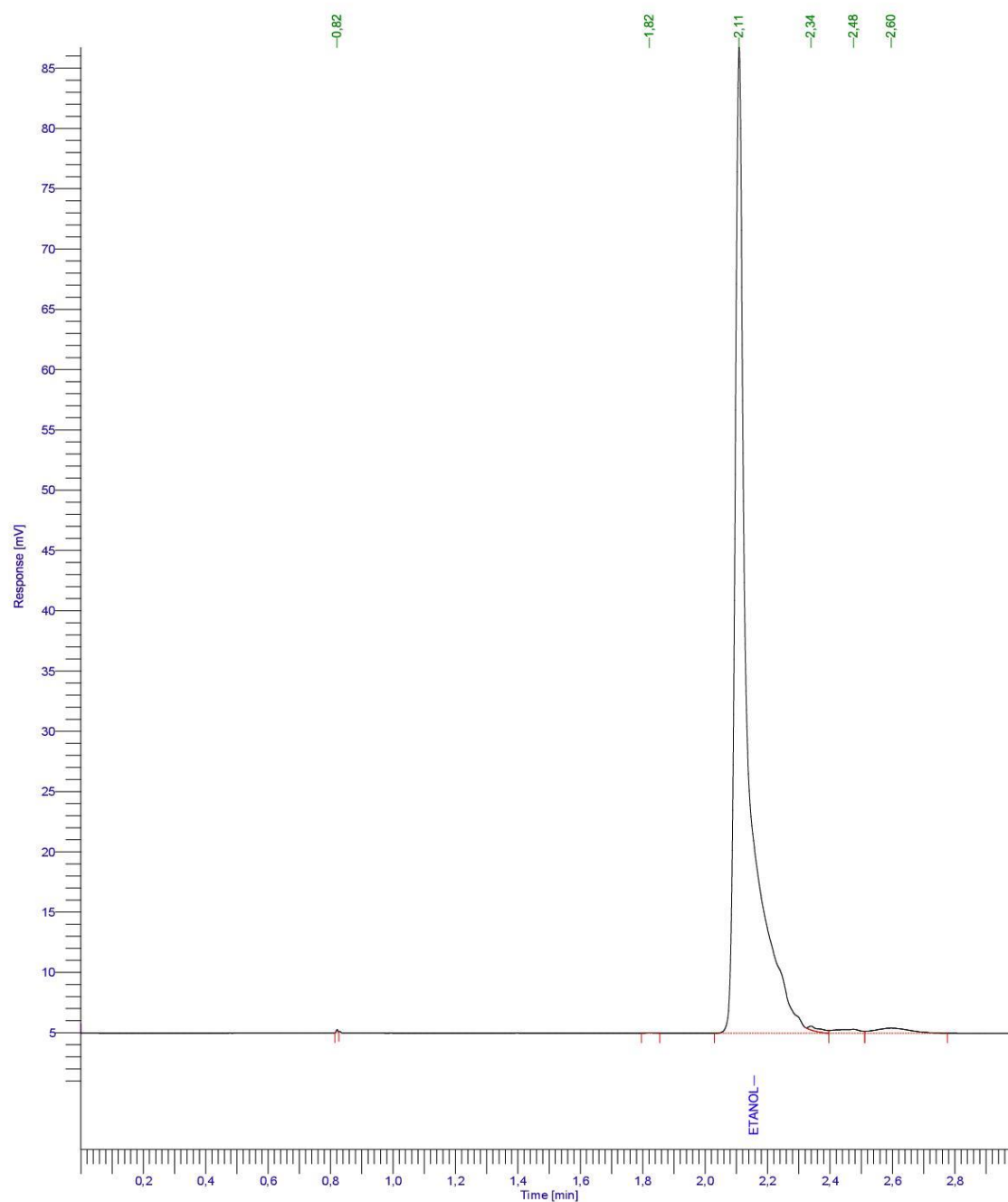
Sample Name : Sample # : Page 1 of 1
FileName : C:\PenExcel\TcWS\Ver6.3.2\Examples\WVA.raw
Date : 09/10/2015 10:05:45 a.m.
Method : Time of Injection: 09/10/2015 09:21:02 a.m.
Start Time : 0.00 min End Time : 3.00 min Low Point : 4.82 mV High Point : 6.38 mV
Plot Offset: 4.82 mV Plot Scale: 1.6 mV



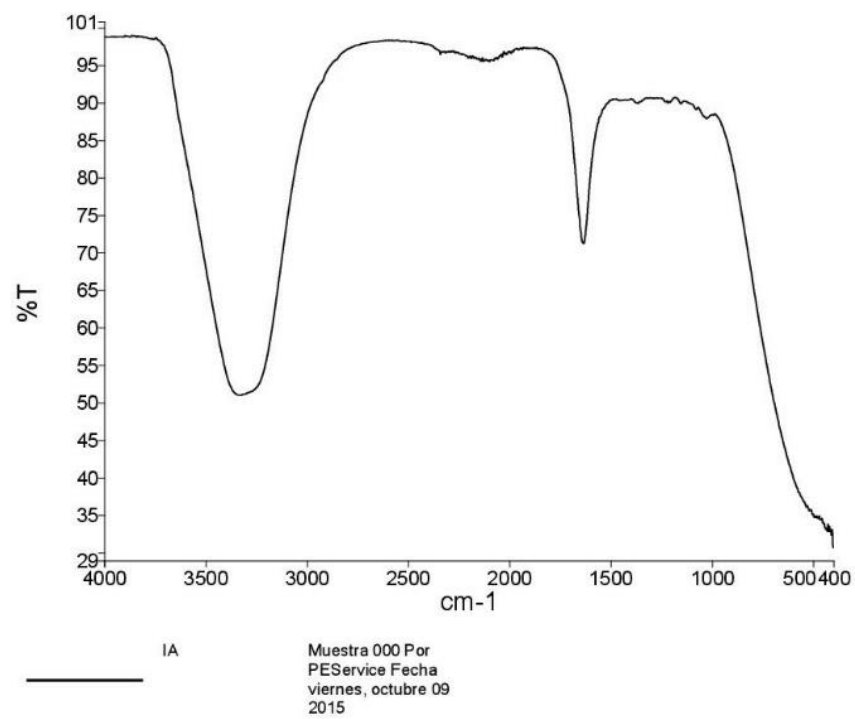
Anexo 18. Cromatograma de la cerveza HEFEWEIZEN sin alcohol

Chromatogram

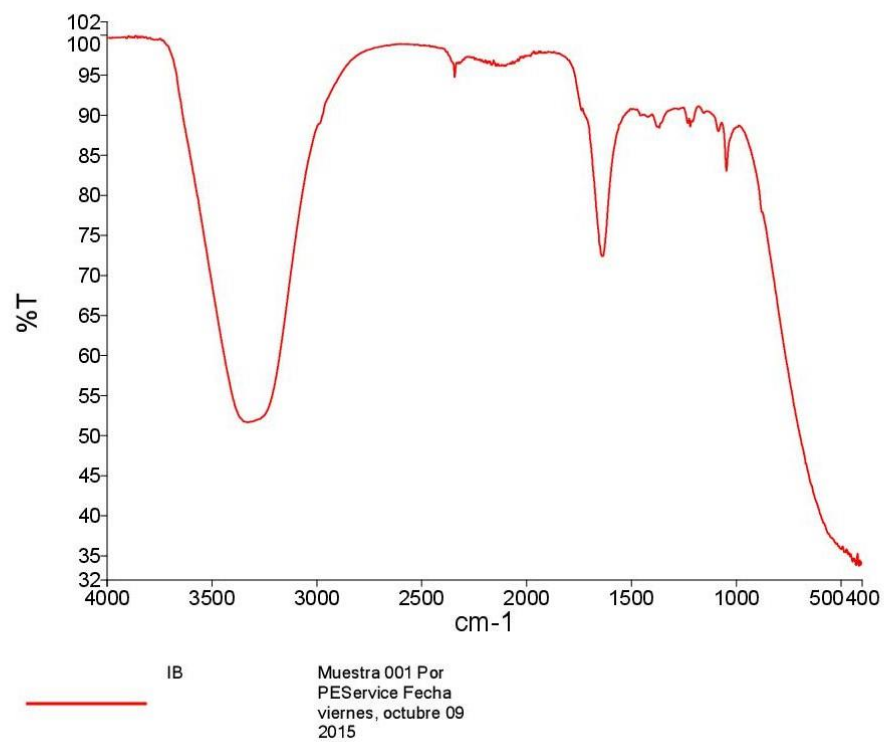
Sample Name : Sample # : Page 1 of 1
FileName : C:\PenExe\Tc\WS\Ver6.3.2\Examples\WB2.raw
Date : 09/10/2015 10:14:34 a.m.
Method : Time of Injection: 09/10/2015 09:45:36 a.m.
Start Time : 0,00 min End Time : 3,00 min Low Point : 0,64 mV High Point : 86,71 mV
Plot Offset: 0,64 mV Plot Scale: 86,1 mV



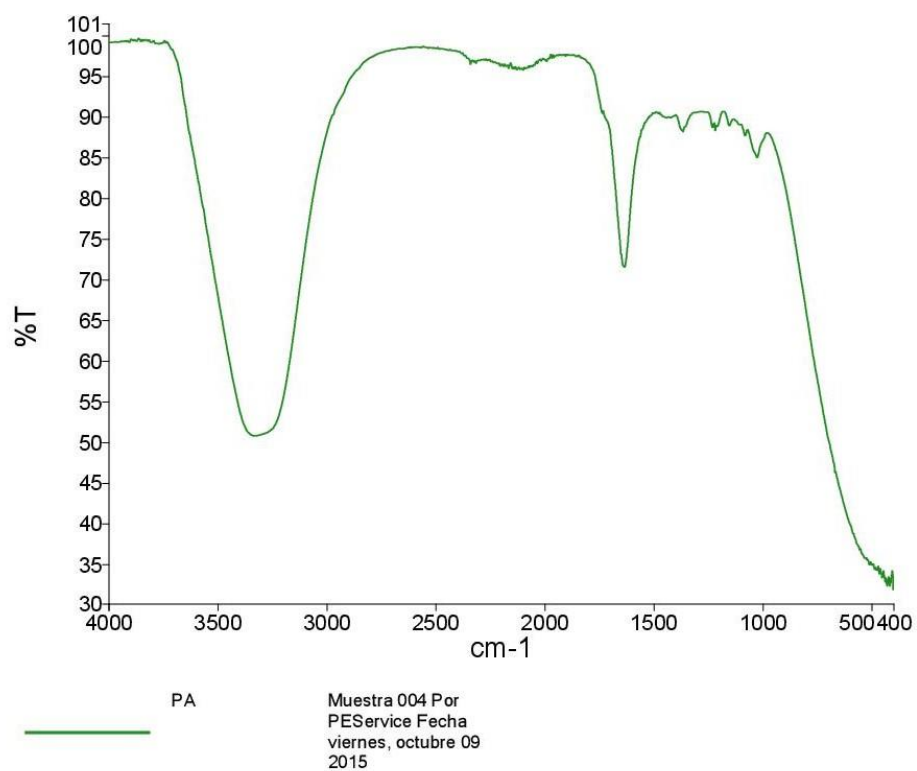
Anexo 19. Infrarrojo de la cerveza IPA



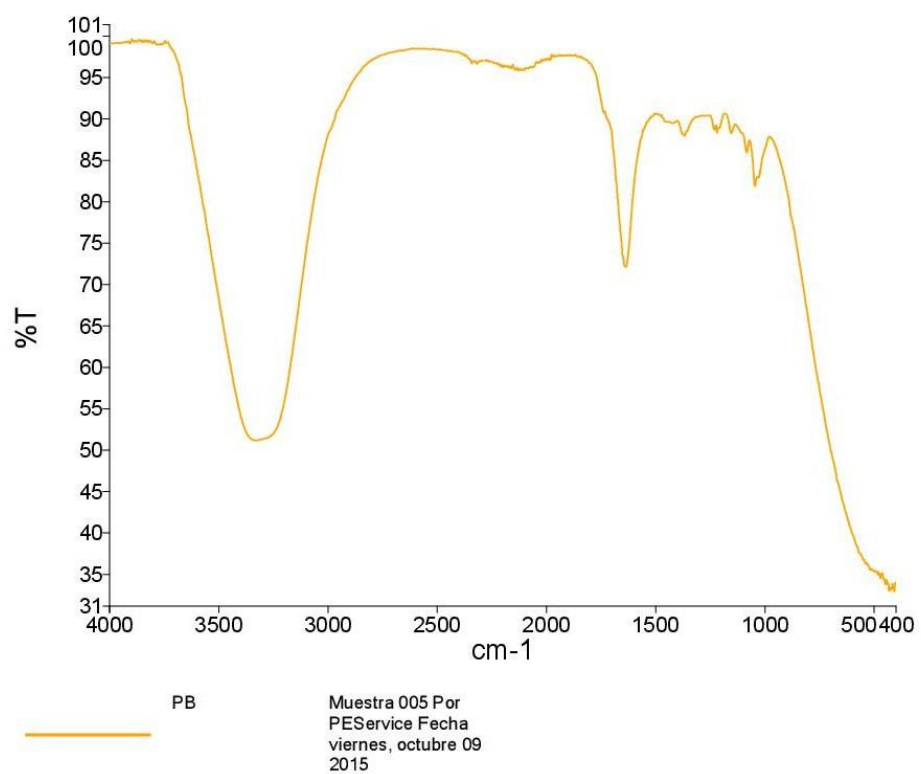
Anexo 20. Infrarrojo de la cerveza IPA sin alcohol



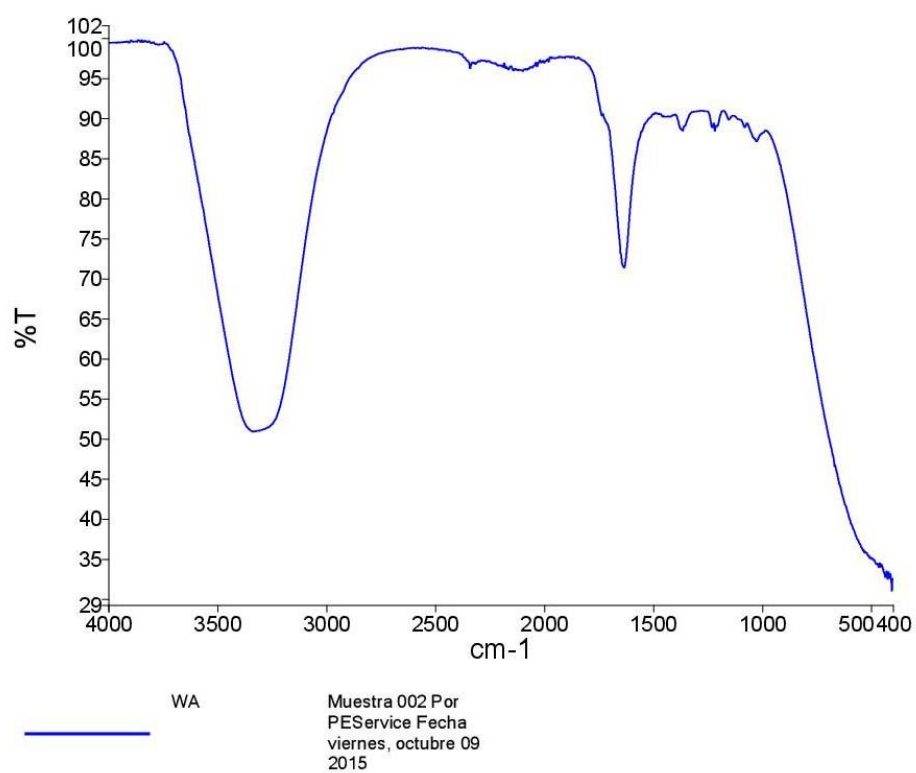
Anexo 21. Infrarrojo de la cerveza PORTER



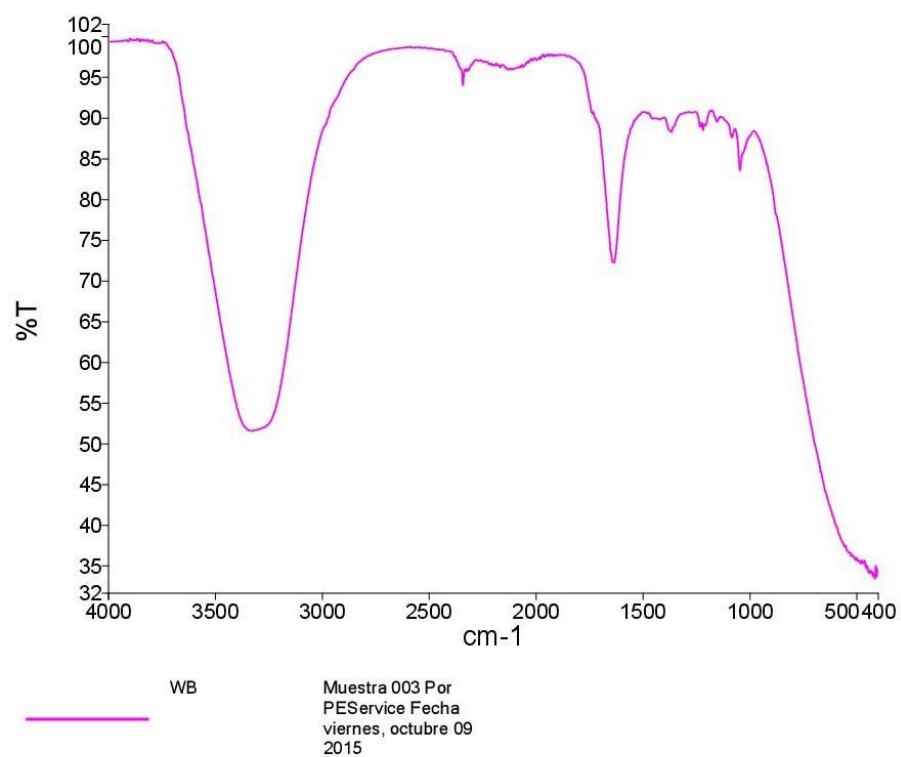
Anexo 22. Infrarrojo de la cerveza PORTER sin alcohol



Anexo 23. Infrarrojo de la cerveza HEFEWEIZEN



Anexo 24. Infrarrojo de la cerveza HEFEWEIZEN sin alcohol



Anexo 25. Encuesta entregada en el panel sensorial

Hefeweizen

Panel Sensorial - Cerveza Artesanal

Nombre: _____

Fecha: _____

Edad: _____

Sexo: _____

INSTRUCCIONES

Frente a usted se presentan 2 muestras de cerveza artesanal identificadas con las letras A, B y C. Por favor, observe y pruebe cada una de ellas. Indique el grado en que le gusta o le disgusta cada muestra, de acuerdo al puntaje/categoría, escribiendo el número correspondiente frente a cada letra.

Puntaje	Categoría	Puntaje	Categoría
1	Me disgusta exageradamente	6	Me gusta levemente
2	Me disgusta mucho	7	Me gusta moderadamente
3	Me disgusta moderadamente	8	Me gusta mucho
4	Me disgusta levemente	9	Me gusta exageradamente
5	No me gusta ni me disgusta		

MUESTRA	GRADO DE SATISFACCIÓN
A	
B	

Se le entrega una muestra R que es igual a una de las muestras A o B. Pruebe y escriba cuál, de las muestras A o B, cree usted que es idéntica a la muestra R : _____